

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012902685 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 2000-074521/200007

XRFX Acc No: N00-058447

Gray level reproducing method for representing density of each pixel of output image by binary or multivalued data

Patent Assignee: CANON KK (CANO )

Inventor: OKINAKA K; SUZUKI T

Number of Countries: 026 Number of Patents: 002

Patent Family:

| Patent No     | Kind | Date     | Applicat No | Kind | Date     | Week     |
|---------------|------|----------|-------------|------|----------|----------|
| EP 963105     | A2   | 19991208 | EP 99304306 | A    | 19990602 | 200007 B |
| JP 2000059626 | A    | 20000225 | JP 99155106 | A    | 19990602 | 200021   |

Priority Applications (No Type Date): JP 98154459 A 19980603

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

EP 963105 A2 E 122 H04N-001/405

Designated States (Regional): AL AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT

LI LT LU LV MC MK NL PT RO SE SI

JP 2000059626 A 48 H04N-001/405

Abstract (Basic): EP 963105 A2

NOVELTY - The method involves having non-blue noise properties at every gray level of dot patterns generated in a pixel block of a reference size using a mask of a size smaller than the reference size of the pixel block. In an output image, no moire is generated having visually undesired contrast and an artifact such as a constant repetitive pattern, etc. caused by the mask itself when an input image receives a gray level process and the image is output through an output device having a resolution of over 600 dpi.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are included for a gray level reproducing apparatus, a threshold matrix for use in converting density of each pixel of image, and a computer-readable storage medium.

USE - For representing density of each pixel of output image by binary or multivalued data.

ADVANTAGE - Obtains high quality image with good uniformity of dot distribution using a small mask, and therefore requires reduced memory capacity for storing a large mask because no large mask is required with higher printer resolution.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a flowchart showing the steps for obtaining a dither matrix.

pp; 122 DwgNo 5/84

Title Terms: GRAY; LEVEL; REPRODUCE; METHOD; REPRESENT; DENSITY; PIXEL; OUTPUT; IMAGE; BINARY; DATA

Derwent Class: P75; T01; W02

International Patent Class (Main): H04N-001/405

International Patent Class (Additional): B41J-002/52; B41J-005/30;

G06T-005/00

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): T01-J10B2; T01-J10D; W02-J03A2; W02-J03B

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(18) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-59626

(P2000-59626A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | テーマコード(参考) |
|---------------------------|------|---------------|------------|
| H 0 4 N 1/405             |      | H 0 4 N 1/40  | C          |
| B 4 1 J 2/52              |      | B 4 1 J 5/30  | Z          |
|                           |      | 3/00          | A          |
| G 0 6 T 5/00              |      | G 0 6 F 15/68 | 3 2 0 A    |

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 48 頁)

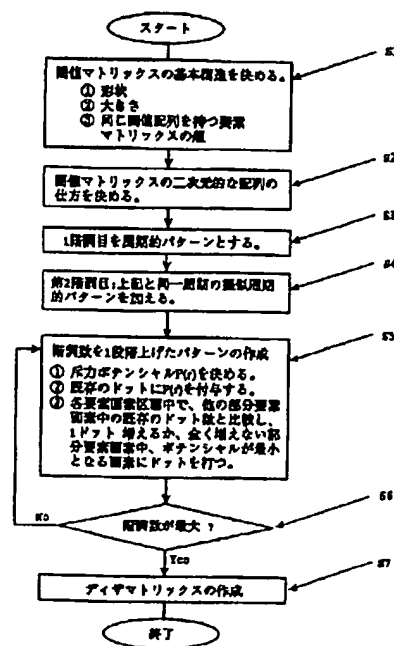
|              |                      |          |                                            |
|--------------|----------------------|----------|--------------------------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願平11-155106         | (71) 出願人 | 000001007<br>キヤノン株式会社<br>東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (22) 出願日     | 平成11年6月2日 (1999.6.2) | (72) 発明者 | 鈴木 隆史<br>東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内        |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平10-154459         | (72) 発明者 | 沖中 啓二<br>東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内        |
| (32) 優先日     | 平成10年6月3日 (1998.6.3) | (74) 代理人 | 100069877<br>弁理士 丸島 健一                     |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)             |          |                                            |

(54) 【発明の名称】 閾値マトリックス、及びそれを使用した階調再現方法とその装置

(57) 【要約】

【課題】 小型のマスクでドット分布の一様性に優れた高画質な画像を得ることができるとともに、高精細プリンタにおいてもマスクサイズを大きくする必要が無く、マスクを記憶しておくためのメモリ容量を小さくすることができる閾値マトリックス、及びそれを使用した階調再現方法とその装置を提供する。

【解決手段】 閾値マトリックスにより階調処理され生成されるドットパターンが、(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数が等しく、(4)4n (nは整数) 階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなるように、閾値マトリックスを形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、

基準となる大きさの画素区画より小さいサイズのマスクを用いて前記基準となる大きさの画素区画内に生成するドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする階調再現方法。

【請求項2】 前記マスク単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非等方性の平均値として1dB程度以上の値を有することを特徴とする請求項1に記載の階調再現方法。

【請求項3】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、

前記マスク単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする階調再現方法。

【請求項4】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、

前記マスク単独により生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調でマスクの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(揺動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする階調再現方法。

【請求項5】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現するために、同一の閾値配列を持った比較的小規模の閾値マトリックスを原画全体に対応して二次元的かつ規則的に配列して用いる階調再現方法において、

該マスクが、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、該マスクにより生成されるドットパターンが、  
(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の粗を持ち、

(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、

(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数が等しく、

(4) $4n$ ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなる、

ことを特徴とする階調再現方法。

【請求項6】 前記マスクを二次元的かつ規則的に繰り返し利用の際に、隣り合ったマスクをそれらの境界に沿ってずらすことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1つに記載の階調再現方法。

【請求項7】 前記マスクの形状が4辺形と異なることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1つに記載の階調再現方法。

【請求項8】 前記弱い不規則性、または、擬似周期性が、前記各要素マスクに対応する各要素画素区画内のすべてかまたは一部の所定の位置に、該区画内の全画素数の $1/4$ 以下の画素数を持つ小画素区画を設け、それぞれの小画素区画の中でドットを打つべき一つの画素を選択することにより導入されることを特徴とする請求項5乃至7のいずれか1つに記載の階調再現方法。

【請求項9】 前記マスクを作成するために各階調におけるドットパターンを定める方法として、ある階調におけるドットパターンが定まった場合、すべてのドットに斥力ポテンシャルを付与し、それらポテンシャルの和として定まるポテンシャルが最低となる画素に次ぎの階調におけるドットパターンを定めるためのドットを打つという過程を用いることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1つに記載の階調再現方法。

【請求項10】 カラー画像を複数の色成分に分解し、少なくとも一つの色成分の原画を入力画像とし、請求項1乃至9のいずれか1つに記載の階調再現方法を適用したカラー画像の階調再現方法。

【請求項11】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、

閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、

前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、

前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、

前記閾値マトリックスは、そのサイズは基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起

因する一定の繰返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする階調再現装置。

【請求項12】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、

閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、

前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、

前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、

前記閾値マトリックスは、前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする階調再現装置。

【請求項13】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、

閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、

前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、

前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、

前記閾値マトリックスは、単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(揺動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする階調再現装置。

【請求項14】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、

閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、

前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、

前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、

前記閾値マトリックスは、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、

(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、

(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性を導入され、

(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数が等しく、

(4) $4n$ ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなる、

ことを特徴とする階調再現装置。

【請求項15】 原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、

そのサイズは基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする閾値マトリックス。

【請求項16】 原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、

前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする閾値マトリックス。

【請求項17】 原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、

単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(揺動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする閾値マトリックス。

【請求項18】 原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、

分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、

(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、

(2) 1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、  
(3) すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数が等しく、

(4)  $4n$  ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなる、  
ことを特徴とする閾値マトリックス。

【請求項19】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、  
基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しない閾値マトリックスと、  
前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする記憶媒体。

【請求項20】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、  
前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする閾値マトリックスと、  
前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする記憶媒体。

【請求項21】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、  
単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(摂動)を導入し、一次元半径方向の

スペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しない閾値マトリックスと、  
前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする記憶媒体。

【請求項22】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、

分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、

(1) 各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、

(2) 1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、

(3) すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数等しく、

(4)  $4n$  ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなる、  
閾値マトリックスと、

前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする記憶媒体。

【請求項23】 原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンの非等方性において、すべての階調で該非等方性の平均値が3dB以上を示し、極大値が10dB以上を示すスペクトルを持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする階調再現装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は閾値マトリックス、及びそれを使用した階調再現方法とその装置に関し、特に入力画像データを二値または多値のデータに階調処理するための閾値マトリックス、及びそれを使用した階調再現方法とその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、実用的な階調再現方法には、大別して、誤差拡散法とマスク法とがあった。マスク法と

は、基本的には、二値化の際に原画の画素と閾値マトリックスの要素とを1対1に対応させて出力画の画素の出力値を決める方法である。

【0003】これに対し、誤差拡散法は、個々の画素の出力値を、既に決められた出力値を持つ原画との間に生じた誤差を取り戻すよう計算しながら決めてゆくので、マスク法に比べ、画質は良いが処理速度が遅くなり、高速のプロセッサを用いても、現状でマスク法の3ないし5倍程度の時間を必要とする。

【0004】以前から知られたマスク法としての組織的ディザ法には、大別して集団ドット(clustered-dot)ディザ法と分散ドット(dispersed-dot)ディザ法とがある(R.Ulichney, Digital Halftoning (MIT Press, Cambridge, Massachusetts) 1987)。

【0005】今から10年程前、プリンタの精細度がまだ低く、平均的には300~500dpi程であった頃は、画質への要求度が低い場合は分散ドットディザ法、高い場合は誤差拡散法が用いられていた。その理由は、分散ドットディザ法では、出力画像の低階調部分などでマスクサイズを周期とする周期的パターンが目立ったり、また表示したい画像に周期性パターンが含まれている場合、モアレが発生することがあるなど、画質は必ずしも良好ではなかったからである。集団ドットディザ法は階調によらずマスクサイズを周期とする周期的パターンとなり、階調数が増えるに連れ、集団としてのドットの大きさが大きくなる。従って、もともと精細度の高い印刷分野で用いられて来たり、精細度が低い場合には適さない。

【0006】実際に、出力画像が肉眼で観測される場合、人間の眼の明視の距離における周波数応答特性には、1lp(line pairs)/mmあたりにピークがあり、分解限界は、7lp/mm程度と言われているので、ドットとドットの間隔のみに関して言えば0.14mm程度が分解出来る限界になる。分散ドットディザ法では、再現すべき階調数を256階調とすると、マスクサイズは16×16であるから、画像空間に直すと、300dpiでは1.4mm角、500dpiでは0.8mm角となり、入力画像に一樣低階調の部分があると、出力画像には、一つのマスクが作る低階調の特徴あるドット分布が繰り返して現れるので、眼の感度が高い1mm前後の周期を持つその周期性パターンは虚像として十分観測されることになる。

【0007】また、分散ドットディザ法では、128階調目でのドットパターンを最も高い周波数として、各階調のドットパターンの周期性が高いので入力画像にそれらと同程度の周期を持つ周期性パターンがあると、それらの差の周波数を持つ周期性パターンとしてのモアレが、肉眼で感知しやすい1mm前後から数mm程度の周期構造を持つ虚像として観測される。このようなモアレを別にすれば、組織的ディザ法のマスク一枚のみにより生成されるパターンが繰り返されることによる周期性パターンの周期を目の分解能と同程度にするには、2860dpiのアリ

ントが必要となる。

【0008】誤差拡散法では、誤差の拡散のさせかたにいろいろな方式があったが、Ulichney(前掲書、§8.3.1, p.268、及びDithering with Blue Noise, Proc. IEEE, vol. 76, No. 1, 1988, p. 56)により、振動誤差拡散法が、各階調で生成された二値化パターン(ドットパターン)の空間周波数スペクトルが青色ノイズ特性を持つため、視覚的に優れていることが示された。そのような青色ノイズパターンは、非周期的で相関のない構造を持ち、低周波数の粒状性がないという特徴を持つ(Ulichney, 前掲書、p.233)。

【0009】スペクトル空間での青色ノイズの特性と、実空間における青色ノイズパターンの特徴との対応関係を図68に示す。同図において、スペクトル空間で低周波数成分が少ないことは、実空間ではドットパターンの粒状性が少ないことに対応し、スペクトル空間で非周期的であることは、実空間では、組織的ディザ法で見られるような、マスクサイズを周期とする周期的パターンや、入力画像との干渉で生ずるモアレなどの虚像が発生しないことに対応する。即ち、視覚的に好ましいドットパターンであるためにはスペクトル空間で低周波数成分が少ないことと、非周期的であることとの両者が必須である。従って、Ulichneyにより示されたこの理論体系(scheme)では、対偶として、青色ノイズでなければ視覚的に好ましくはないと言うことと、その逆とが成立することになる。

【0010】この結果に基づいて、処理速度の速いマスク法で青色ノイズパターンを実現する方法が考案され始めた。先ず、各階調毎に青色ノイズマスクを持つ方法(USP4,920,501、USP 5,214,517)が考案され、次いで閾値マトリックスとしての一枚のマスクのみを用いる青色ノイズマスク法(特許公報第2622429号、USP 5,111,310、USP 5,477,305等)が考案された。さらには、空所/集団(void and cluster)法(USP 5,535,020)や、その改良技術(USP 5,317,418)も考案された。

【0011】青色ノイズマスク法も図68に示された理論体系に基づく二値化法である。同方法に関わるすべての発明(特許公報第2622429号、USP 5,111,310、USP 5,323,247、USP 5,341,228、USP 5,477,305、USP 5,543,941)に記載されているように、同方法により生成される青色ノイズパターンの持つ青色ノイズ特性とは、任意の階調に設定した場合のドットの出力パターン(ドットパターン)が局所的に非周期的(locally aperiodic)かつ等方的(isotropic)で低周波数成分が少ないことを言う。また、任意の階調におけるドットの分布が予め定められた一定の分布を全く持たず、マスク作成のアルゴリズムの持つランダム性のみ委ねられるという意味で非決定論的であるため、青色ノイズ特性を持つドットの分布を、ランダム(random)かつ非決定論的(non-deterministic)で非白色ノイズ(non-white noise)特性を持つと

言うこともできる (USP 5,111,310)。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】ここで注意しなければならないことは、図68の理論体系は、入力信号に応じて実時間的に二値化処理をした出力信号を出力する誤差拡散法において構築されているので、基本的に出力画面の大きさに基づき青色ノイズ特性を持つドットの分布を生成出来ることである。しかし、マスク法の場合は、一定階調の入力画像に対し、マスクの大きさと出力装置、例えばプリンタ、の精細度とから決まる大きさを持った同じドットパターンが、出力画面上に繰り返し周期的に現れるという誤差拡散法にない極めて強い周期性を必ず持つことになり、基本的に非周期的(等方的)であるという青色ノイズ特性の理論体系と原理的に矛盾するという重大な課題を持つ。先に示した青色ノイズ特性に関わる種々のマスク法においては、この矛盾点を解消する具体的な条件に関する開示は全くなされていない。

【0013】青色ノイズマスク法の持つ上記基本的問題点と青色ノイズマスク法固有の問題点とから来る該方法の限界を以下に具体的に示す。

【0014】上記方法が発明された時期、プリンタの精細度は平均して 300~500dpi 程であった(特許公報 第2622429号、USP 5,111,310、USP 5,323,247、USP 5,341,228、USP 5,477,305、USP 5,543,941)。この発明により開示された青色ノイズマスクの作成法では、階調数を256とすると、先ず中央の 128階調目の青色ノイズパターンを作成する。次に 128階調目より下の階調のドットパターンを作成する系統と128階調目より上の階調のドットパターンを作成する系統とに分け、次々とそれぞれの系統における階調のドットパターンを作成してゆく。全階調のドットパターンが決まれば全閾値が定まりマスクが完成する。その際、一つ前の階調までにドットが打たれてしまっている位置には新たなドットが打てないので、中央の階調から離れれば離れるほど、ドットの位置を選択する自由度が減って行き、良好な青色ノイズパターンが得られにくくなる。図69、70に、入力画像の階調数を256、出力画面サイズを256×256画素としたときの組織的ディザ法の1階調目(図69)と青色ノイズマスク法の1階調目(図70)を示す。因みに集団ドットディザ法と分散ドットディザ法の1階調目のドットパターンは同一である。分散ドットディザ法に比べ、青色ノイズマスク法の低階調におけるドットの分布の一様性の悪さが歴然としていることがわかる。

【0015】青色ノイズマスク法において、中央の階調で最初の青色ノイズパターンを用意することを止め、低階調、例えば 1階調目で青色ノイズパターンを用意すれば、低階調でより良好な青色ノイズパターンが得られるはずである。そのようにした場合、今度は、高階調になればなる程特性が悪くなり、255階調の特性の悪さは中央の階調から作成し始めた場合の倍程度悪くなることに

なる。このように、この方法において中央の階調から始めるのは、全階調における特性のバランスを考慮したからであり、従って低階調で良好な青色ノイズパターンが得られにくいのは、青色ノイズマスク法固有の問題点である。

【0016】更に、青色ノイズマスク法では、プリンタの精細度が上がると、青色ノイズマスク法の持つ、先に示した原理上の問題点から来る限界が明らかとなる。即ち、青色ノイズマスク法で良好な青色ノイズ特性を得るためにはプリンタの精細度が上がる程マスクが大型化することである。さらに、600~700dpi から 1200dpi程度へとプリンタが高精細化するにつれ、分散ドットディザ法固有の周期的パターンが細くなり、視覚的に感知しにくくなるので、同方法と比べたとき、青色ノイズマスク法における低階調でのドット分布の一様性の悪さが目立つようになるという、同方法固有の問題点も一層顕著に現れることになる。

【0017】このように、従来の青色ノイズマスク法では、低階調におけるドットの分布の一様性が悪いといった欠点があり、更にプリンタの精細度があがると、一様性の悪さが目立つので、それをなくするためには大きなサイズのマスクが必要となり、メモリの容量が大きくなってしまったという欠点があった。

【0018】本発明は上述した従来技術の課題を解決するものであり、小型のマスクでドット分布の一様性に優れた高画質な画像を得ることができるとともに、高精細プリンタにおいてもマスクサイズを大きくする必要が無く、マスクを記憶しておくためのメモリ容量を小さくすることができる閾値マトリックス、及びそれを使用した階調再現方法とその装置の提供を目的とする。

#### 【0019】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するため本発明の階調再現方法は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを 1対1 に対応させて出力面の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、基準となる大きさの画素区画より小さいサイズのマスクを用いて前記基準となる大きさの画素区画内に生成するドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi 以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0020】又本発明の階調再現方法は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを 1対1 に対応させて出力面の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、前記マスク単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好



ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0021】又本発明の階調再現方法は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現方法において、前記マスク単独により生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調でマスクの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(揺動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする。

【0022】又本発明の階調再現方法は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現するために、同一の閾値配列を持った比較的小規模の閾値マトリックスを原画全体に対応して二次元的かつ規則的に配列して用いる階調再現方法において、該マスクが、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、該マスクにより生成されるドットパターンが、

(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の粗を持ち、(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数 $n$ が等しく、(4) $4n$  ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数 $n$ がすべて等しくなる、ことを特徴とする。

【0023】又本発明の階調再現装置は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、前記閾値マトリックスは、そのサイズは基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0024】又本発明の階調再現装置は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、前記閾値マトリックスは、前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0025】又本発明の階調再現装置は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、前記閾値マトリックスは、単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(揺動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする。

【0026】又本発明の階調再現装置は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置において、閾値マトリックスを記憶する記憶手段と、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較する比較手段と、前記比較手段の比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力する出力手段とを有し、前記閾値マトリックスは、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の粗を持ち、(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数 $n$ が等しく、(4) $4n$  ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数 $n$ がすべて等しくなる、ことを特徴とする。

る。

【0027】又本発明の閾値マトリックスは、原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、そのサイズは基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0028】又本発明の閾値マトリックスは、原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。又本発明の閾値マトリックスは、原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(振動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しないことを特徴とする。

【0029】又本発明の閾値マトリックスは、原画の各画素における濃度を二値あるいは多値のデータに変換する際に用いられる閾値マトリックスにおいて、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、疑似周期性が導入され、(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数に等しく、(4)4n (nは整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数にすべて等しくなる、ことを特徴とする。

【0030】又本発明の記憶媒体は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、

基準となる大きさの画素区画より小さいサイズであり、前記基準となる大きさの画素区画内に生成されるドットパターンがすべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、入力画像を階調処理し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置により出力した場合に、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しない閾値マトリックスと、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする。

【0031】又本発明の記憶媒体は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、前記閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンが、すべての階調で非青色ノイズ特性を持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする閾値マトリックスと、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする。

【0032】又本発明の記憶媒体は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、単独の閾値マトリックスにより生成されるドットパターンの二次元空間周波数スペクトルが、すべての階調で閾値マトリックスの持つ周期性に起因する複数の孤立スペクトルを持つと共に、複数の階調で、該階調のドットの分布に弱い不規則性(振動)を導入し、一次元半径方向のスペクトルに低周波数成分の少ないノイズ成分を持たせることにより、階調処理をした出力画像に、視覚的に好ましくない虚像が発生しない閾値マトリックスと、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする。

【0033】又本発明の記憶媒体は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現処理を制御する制御プログラムをコンピュータ読み出し可能に記憶する記憶媒体であって、分散ドットディザ法のマスクと同じ大きさのマスク(要

素マスク)を複数並べた大きさを持ち、かつ、生成されるドットパターンが、(1)各要素マスクに対応する各要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持ち、(2)1階調目以降の低階調のうちのいずれかの階調において弱い不規則性、または、擬似周期性が導入され、(3)すべての階調で、すべての要素画素区画内のドットの数が等しく、(4) $4n$  ( $n$ は整数)階調毎に、各要素画素区画を四等分した大きさを持つ四つの部分要素画素区画内のドットの数すべて等しくなる、閾値マトリックスと、前記閾値マトリックスの値を閾値として、原画の各画素の濃度と画素毎に比較して、前記比較結果に応じて、二値あるいは多値化されたドットパターンを出力するよう制御するモジュールを含むことを特徴とする。また本発明の階調再現装置は、原画の各画素と閾値マトリックス(マスク)の各要素とを1対1に対応させて出力画の個々の画素における濃度を二値あるいは多値で表現する階調再現装置であって、閾値マトリックス単独により生成されるドットパターンの非等方性において、すべての階調で該非等方性の平均値が3dB以上を示し、極大値が1.0dB以上を示すスペクトルを持ち、かつ、出力画像に、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像が発生しないことを特徴とする。

【0034】これら本発明によれば、小型のマスクでドット分布の一様性に優れた高画質な画像を得ることができるとともに、高精細プリンタにおいてもマスクサイズを大きくする必要が無く、マスクを記憶しておくためのメモリ容量を小さくすることができる。

【0035】

【発明の実施の形態】以下、実施の形態を説明する。

【0036】本発明は、従来型のインクジェットプリンタやバブルジェット(BJ)プリンタなどのように、最も単純な場合、出力画像の画素毎にインクの液滴を紙に打つかぎたないかを定めて画像を形成する装置において中間調を表現するために適用でき、同様に、各画素について、明か暗かで画像を表示する類の液晶表示装置等においても中間調を表現するために好適に用いられる。

【0037】より一般的には、連続階調の白黒又はカラー画像を濃度に関して二値あるいは多値に変換して出力するインクジェットプリンタ等をはじめレーザービームプリンタ、ファクシミリや印刷機などの機器においても中間調を好ましく表現するために用いられる。

【0038】さらに、本発明は、プリンタ等の出力装置の持つ精細度がおよそ600dpi以上、1200dpi程度と高くなればなる程、より効果的に用いられる。

【0039】本実施の形態の理解を容易にするため、従来の青色ノイズマスク法の課題を更に詳細に説明し、その後実施の形態のポイントを説明する。

【0040】課題で述べた大型の青色ノイズマスクを必

要とする理由を以下に説明する。

【0041】再現すべき階調数を256とし、精細度が600dpiの市販のインクジェットプリンタを用いて実験を行った。開示された青色ノイズマスクの作成法(IISP 5.1 11,310等、及び、T. Mitsa and K.J.Parker, J. Opt. Soc. Am., 9, 1920-1929 (1992))に従って、大きさが $256 \times 256$ (画面上では10.8mm角)、 $128 \times 128$ (画面上では5.4mm角)、 $64 \times 64$ (画面上では2.7mm角)の3種類の青色ノイズマスクを試作した。先ず視覚的に評価することとし、対象となる画像は、大きさが18.5mm角で、個々の画面が一定の階調を持ち、濃度が階段状に変化するグレースケールとした。そのようにして試作したドットパターンを、マスクの大きさの順に図71(256×256)、図72(128×128)、図73(64×64)に示した。それぞれ、上段左から右に30、31、32階調目、中段左から右に40、41、42階調目、下段左から右に50、51、52階調目のドットパターンである。ただし、同図はプリンタで打ち出した原画の複写機によるコピーであり、コピー段階での非線形特性のため濃淡のコントラストが若干変化している。

【0042】256×256の大きさの青色ノイズマスクは一画面あたりマスク約4個分を含んでいるので、10.8mm角の青色ノイズパターンが約4個弱含まれているはずであるが、図71でわかるように不定型のムラはあるものの周期的パターンは感知されず、他の階調でも同様であった。

【0043】しかし、128×128の大きさのマスクでは、図72に見られるように多くの階調でマスク9個分のパターンが二次元的に繰り返されている様子が感知され、実用には供し難い程度であった。

【0044】64×64の大きさのマスクでは、図73に見られるようにより多くの階調でこの現象がさらに顕著に現れ、本来ならば様にグレーとして見られるべき個々の画面に、2.7mm周期の格子状の模様ははっきり感知された。マスクの大きさが小さくなると、その中に生じるドットの分布のムラの変化率が相対的に大きくなり、そのムラの変化の繰り返し、ちょうど人間の目に感知し易い数mmの周期となるからである。

【0045】以上の結果から、600dpiのインクジェットプリンタを用いた場合の青色ノイズマスクの最適な大きさは、256×256であることが分かった。

【0046】プリンタの精細度が300～500dpiと低い場合、例えば、具体的に300dpiの場合には、分散ドットディザ法におけるマスク自体の持つ規則的パターンによる虚像がより顕著になる反面、128×128の大きさの青色ノイズマスクに関しては図72に示されたような虚像はより感知し難くなった。しかし、プリンタの精細度が600dpiに上がると、マスク一枚分が作るドットパターンの大きさが小さくなり、分散ドットディザ法の周期的虚像がより感知し難くなる一方で、逆に図72に見られるように、青色ノイズマスク法による虚像はより感知し易

くなることが明らかとなった。即ち、青色ノイズマスク法で良好なドットパターンを得るためにはプリンタの精細度が上がる程大型のマスクが必要であることが視覚特性の面からわかる。

【0047】次に、これらのマスクを用いて生成されたドットパターンが青色ノイズ特性を持つか否かをスペクトル空間で評価した。出力画面サイズを、大きさが  $256 \times 256$  のマスクがつくる画面と同じにした。この大きさは、Ulichney (前掲書, p. 54) が誤差拡散法によるドットパターンの二次元周波数特性  $Pr(fr)$  (二次元周波数空間において中心半径  $fr$  の輪帯状に区分けした領域内で平均したパワースペクトルを半径方向  $fr$  を横軸にして表示) と、非等方性 (anisotropy: Ulichney, 前掲書 p. 56) とを調べた際に用いた画面の大きさに等しい。

【0048】Ulichney は非等方性を誤差拡散法において次のように定義した。

【0049】

【外1】

$$\text{Anisotropy} = \frac{s^2(fr)}{P^2(fr)} \quad (1)$$

【0050】ここで、 $s^2(fr)$  は二次元パワースペクトル  $Pr(fr)$  の分散、 $P^2(fr)$  はパワースペクトルの自乗である。ただし、誤差拡散法の場合は、同じ階調であっても、発生させる度にドットパターンが異なるので、 $256 \times 256$  の画面10サンプルのパワースペクトルを計算し、相互に独立であるとの仮定のもとで足し合わせ、合計をサンプル数10で割り誤差拡散法におけるパワースペクトルと定義する。このとき、非等方性の値は完全に等方的な場合が  $-10\text{dB}$  となる。ここで、等方的であれば非周期的であると言えるが、その逆は必ずしも真ではないことに注意すべきである。逆の言い方をすれば、周期的であれば必ず非等方的となる。先にも示したように、Ulichney により定められた青色ノイズパターン、従って視覚的に好ましいパターンであるためには、等方的であることよりも非周期的で相関のないことが要件となっていることに注意しなければならない。

【0051】Ulichney の記述 (前掲書 8.2) によれば、Floyd と Steinberg の誤差拡散法では、いくつかの階調では等方的で良好なドットパターンが得られるものの多くの階調におけるドットパターンに上記誤差拡散法特有の各種の虚像の原因となる強い非等方性が存在する。スペクトルの非等方性を示すグラフ (Ulichney, 前掲書, Fig. 8.8) によれば、階調数  $g$  を1に規格化したとき、参照し得る全7階調で全周波数帯域にわたる非等方性の平均値が  $-6\text{dB}$  以上を示す。また、非等方性の極大値は、6階調で  $0\text{dB}$  以上、 $g = 7/8$  で  $-2\text{dB}$  を示す。なお、最低周波数や最高周波数近傍では、ドットの数が少ないため、非等方性の値自体が大きく変動するので、それらを除外する必要がある。どれか一つの周波数でも非等方性の値が  $0\text{dB}$  以上を示すスペクトルがあれば、そのようなパタ

ーンは特に非等方的 (especially anisotropic) であるとする (Ulichney, 前掲書 p. 242)。実際、非等方性の平均値が  $-6\text{dB}$  以上でかつ極大値が  $0\text{dB}$  以上を示す6階調については、例外なく相関のある虚像 (correlated artifacts) が認められる。但し、 $g = 7/8$  では、極大値は  $0\text{dB}$  に達してはいないが、平均値のレベルは、 $-5.5\text{dB}$  と高く、弱い虚像が認められる。

【0052】また、Floyd と Steinberg による誤差拡散法において存在するいくつかの虚像を減少させた Jarvis らの誤差拡散法においても、高ないし低階調域での方向履歴現象 (directional hysteresis) は増加し、中階調領域での画素の一層の集団化が起こる (Ulichney, 前掲書, 8.2.1, p. 253)。この誤差拡散法においては Floyd と Steinberg による誤差拡散法に比べれば全体的に非等方性が弱くなっている。因みに Jarvis による誤差拡散法では、参照し得る5階調すべてにおいて非等方性の平均値が  $-7\text{dB}$  強から  $-4\text{dB}$  程度の範囲にあり、平均すると  $-6\text{dB}$  程度となっている。非等方性の平均値が  $-7\text{dB}$  強以上でかつ極大値が  $0\text{dB}$  以上を示す3階調については例外なく虚像が認められる。従って、両誤差拡散法を通じて、非等方性の平均値が  $-7\text{dB}$  強以上で、極大値が  $0\text{dB}$  以上を示すスペクトルがあるドットパターンには例外なく虚像が認められるとすることができる。

【0053】以上の記載に基づくならば、非等方性の極大値が  $0\text{dB}$  以上で平均値が  $-7\text{dB}$  強以上となるような誤差拡散法のドットパターンは、青色ノイズ特性を持つとは言えず、非青色ノイズ特性を持つとしなければならない。なぜなら、Ulichney (前掲書) に基づいて図 68 に示したように、本来、青色ノイズ特性を持つドットパターンであれば、上記のような虚像は発生しないからである。従って、パワースペクトルのいかににかかわらず、非等方性に関する極大値と平均値の値のみに基いて例外なく非青色ノイズ特性を持つと判定できることになる。

【0054】さらに、非等方性に関する青色ノイズ特性の限界は、Jarvis らによる誤差拡散法で階調数  $g = 1/8$  の場合を参考にするなら、低周波数成分が少ないことを前提として、非等方性の平均値が  $-7\text{dB}$  以下となるドットパターンであるとして良からう。因みに、この階調の非等方性の極大値はかなり高く  $-2.5\text{dB}$  である。視覚的に好ましい  $g = 1/8$  を青色ノイズ特性の限界に選んだ理由を以下に示す。 $g = 1/8$  のパワースペクトルを見ると Ulichney の示す青色ノイズの理想的なパワースペクトルの形状 (Ulichney, 前掲書 p. 238, Fig. 8.3) に極めて近いことがわかる。但し、同図と比較しても、主周波数 (Principal Frequency)  $f_g$  の位置に極めて高いピークが存在し、その周波数位置で非等方性も極大値をとる。非等方性の平均値も  $-7\text{dB}$  と、この誤差拡散法が示す非青色ノイズ特性の非等方性に関する平均値の下限  $-7\text{dB}$  強に極めて近く、比較的高い非等方性を示す。非等方性に関するこれらの値がより大きくなるとドットパターンの視覚特性

はかなり急速に悪化し、明らかに非青色ノイズ特性を持つようになるが、逆に非等方性の平均値が、 $-7\text{dB}$ 以下となり、 $-10\text{dB}$ (等方的)に近づいても、後に示すようにやはり視覚特性が悪化する方向にある。即ち、Jarvisらの誤差拡散法のこの階調は、結果的に見て、視覚特性の面から非等方性が最も高いレベルで最適化されている可能性が極めて高い。非等方性の極大値が非青色ノイズ特性を示すレベルよりさらに一層高くなっても、分散ドットディザ法の場合は、例えば、 $600\text{dpi}$ のプリンターで同じく $g=1/8$ (全階調数を256としたとき32階調目)におけるドットパターンを作成すればわかるように、視覚的には極めて好ましく感じられる。だからと言って青色ノイズ特性を持つわけではない。

【0055】Ulichney(前掲書 p.272, 及び Fig. 8.15)が、青色ノイズ特性を持つとして具体例を示した単一の重みを持った確率的振動誤差拡散法(Perturbed Error Diffusion with a Stochastic Error Filter with One Weight)のスペクトルは、階調数 $g$ を1に規格化したとき、上記の図(Fig. 8.15)に示された全ての階調( $g=1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 3/4$ の6階調)で以下の条件を満たすとしている。(1)非常に低い非等方性(very low anisotropy)を示す。(2)平坦な青色ノイズ領域(flat blue noise region)を持つ。(3)カットオフ周波数 $f_g$ (cutoff at  $f_g$ )を持つ。ここで、(1)は非等方性に関するスペクトル特性、(2)と(3)はパワースペクトルに関する特性である。従って、青色ノイズ特性を持つか否かは、非等方性にしろパワースペクトルにしろ、どちらか一方のスペクトルからだけでは評価できない。ただし、すでに述べたように、非青色ノイズ特性を持つか否かは、非等方性の極大値と平均値の値からだけでも判定できる。上記青色ノイズの定義に照らし合わせても、非等方性が特に非等方的とされるレベルであれば、明らかに上記特性の(1)、「非常に低い非等方性(very low anisotropy)を示す。」に反することがわかる。いずれにしても、青色ノイズ特性とは、プリンターの解像力やドットパターンの階調数 $g$ のいかにに関わりなく、上記(1)~(3)のスペクトル特性のみによって定義されていることがわかる。

【0056】すべての階調で上記3条件が文字通り満たされればそのドットパターンは青色ノイズ特性を持つと言えるが、厳密には、Ulichneyの示した前記振動誤差拡散法も $g=1/2$ では条件(2)を満たさず、低周波数成分がかなり多い、その結果、ドットパターンには粒状性が目立つことになる。しかし、Ulichneyに従い白色ノイズと比較すれば、条件(2)からのこの程度のずれは、青色ノイズ特性として許容される範囲とされることになる。このように、Ulichneyの定義した青色ノイズ特性に基づいているため、振動誤差拡散法は、全ての階調で周期性や相関のある虚像は厳しく抑制し、モアレが発生するような恐れは皆無ではあるが、粒状性の抑制力は弱いという

特徴を持つことになる。

【0057】前記振動誤差拡散法では、6階調の内 $g=1/8, 1/4, 7/8$ の3階調での非等方性の値はほぼ全周波数帯域で $-10\pm 2.5\text{dB}$ の範囲にあり、平均値として $-10\text{dB}$ を示すので等方的と言える。しかし、残りの3階調では、帯域によっては平均値自体が $-10\text{dB}$ より大きく、明らかに非等方性を示し、非等方性の強い階調では極大値が $-4\text{dB}$ 、平均値が $-7\text{dB}$ 程度である。ただし、それらの非等方性はすべて主周波数 $f_g$ よりも低周波数帯域に存在し、パワースペクトルで見ても、特定の周波数にピークを持つわけではないので、虚像らしきものは感知されない。先に、青色ノイズ特性の限界を、Jarvisらによる誤差拡散法で階調数 $g=1/8$ の場合に設定した。振動誤差拡散法の階調数 $g=1/8$ の場合を見ると非等方性の平均値はほぼ $-10\text{dB}$ と良好な等方性を示すが、パワースペクトルを見ると低周波数成分が多く、Jarvisらの誤差拡散法における階調数 $g=1/8$ のドットパターンと比較すると、粒状性は大幅に悪化していることがわかる。

【0058】マスク法で得られたドットパターンは、階調が同じであれば常に同じパターンが繰り返し得られるので、10サンプルを取り平均する操作は不要となる。従って、非等方性に関する極大値と平均値のそれぞれについて、誤差拡散法における値とマスク法における値の対応関係を調べる必要がある。そのため、FloydとSteinbergによる誤差拡散法とJarvisらの誤差拡散法について、誤差拡散法としてのそれらの値と、10サンプルの中の個別のサンプルに関するそれらの値との対応関係を調べた。誤差拡散法でも、実際に眼で見るドットパターンは個々のサンプルであるから、サンプル毎の非等方性やパワースペクトルは、視覚特性とより直接的な対応関係を持つことになる。

【0059】先ず、誤差拡散法での非等方性が、ピーク値で $5\text{dB}$ 程度以下の場合には、すべてのサンプルで、個々のサンプルの非等方性の平均値の、等方性の基準値 $0\text{dB}$ からの差の値は、10サンプルを総合した非等方性の平均値の、基準値 $-10\text{dB}$ からの差の値の半分よりは小さい値を示すことがわかった。このことは、誤差拡散法とマスク法とで非等方性を比較する場合、それぞれの平均値の基準値からの差の値として、マスク法が誤差拡散法の値の半分の値を示せば、二つの方法の非等方性はほぼ等しいか、より厳密に言えば、マスク法の非等方性がやや上回るとして良いことを意味する。次に、誤差拡散法で特に非等方的とされる極大値 $0\text{dB}$ (基準値 $-10\text{dB}$ に対し $+10\text{dB}$ )が、個々のサンプルではどのような値をとるかを調べた。結果のみを記すと、10サンプルの中の個別のサンプルによって値がばらつくが、その範囲は $5\text{dB}\pm 1\text{dB}=4\text{dB}\sim 6\text{dB}$ の中に収まった。また、誤差拡散法で例外なく虚像が出る場合の非等方性の平均値は極大値が $0\text{dB}$ 以上であるという前提で、基準値 $-10\text{dB}$ に対し $3\text{dB}$ 強上の $-7\text{dB}$ 強であったから、マスク法でのその平均値は $1.5\text{dB}$ 強

未満となる。実際にその平均値を10サンプルの各々について計算したところ最低値は0.6dBとなった。また、青色ノイズ特性の限界に関して、Jarvis らによる誤差拡散法で階調数 $g = 1/8$ の場合を参考に、非等方性の平均値が-7dB以下、極大値は-2.5dBとなるドットパターンと定めた。従って、マスク法における青色ノイズ特性の限界は、非等方性の平均値については1.5dB未満となるドットパターンであるということになる。実際にこの平均値を10サンプルの各々について計算したところ最大値は0.9dBとなった。この値は、非青色ノイズ特性を持つべきサンプルの平均値の下限0.6dBを上回っている。極大値は、10サンプルの中の個別のサンプルについて、2.5dBから4dBの範囲でばらつき、平均値は3.2dBであった。ただし、10サンプル中9サンプルで誤差拡散法としての非等方性の極大値を持つ周波数としての $f_g$ より低周波数側で、サンプル毎に異なる周波数に極大値が現われ、その最大値は5.4dBに達した。だからといって虚像が知覚される訳ではない。

【0060】その理由は次ぎのように考えられる。誤差拡散法の場合、10サンプルすべてのドットパターンが異なる。しかも、例えば上記極大値5.4dBを示すスペクトルは特定の1サンプルにおいて主周波数 $f_g$ よりも低周波数帯域にあり、パワースペクトルで見ても、その周波数にピークは見あたらない。このことは、その非等方性に関与するドットの数が非常に少ないことを意味するので、虚像は二重に感知し難くなる。従って、個々のパターンの極大値については、誤差拡散法で極大値を持つ周波数にのみ注目すれば良い。ただし、数値的には非等方性が同等であっても、視覚的にはマスク法の場合の方が虚像が感知され易いという意味で非等方性が強い。なぜなら、マスク法では、マスク一枚分に相当する全く同じドットパターンが繰り返されるので、ドット分布の偏りがより目立つからである。このドット分布の偏りの目立ち易さは、すでに示したように、マスクの大きさが小さくなるほど顕著になる。従って、マスク一枚分のドットパターンが数値的に誤差拡散法と同等の非等方性を示す場合でも、以上のような視覚特性を加味した非青色ノイズ特性は、マスク法の方が強く、マスクが小さければ小さい程一層強いことになる。

【0061】さらに視覚特性との関連で述べるならば、たとえマスクの大きさが同じであっても、出力装置の精細度が上がる程、虚像が目立ち易くなる。

【0062】話をもとにもどすと、マスク法においても、非等方性に関する極大値と平均値の値のみから、例外なく非青色ノイズと判定できる。誤差拡散法で0dBに相当する極大値はマスク法では $5dB \pm 1dB = 4dB \sim 6dB$ の範囲に含まれたから、極大値については4dB以上の値を示せば非青色ノイズ特性と判定して良いことにはなる。しかし、Jarvis らの階調数 $g = 1/8$ における個々のパターンの極大値の最大値は4dBであったから、極大値のみ

で言えば、本来青色ノイズであるパターンが非青色ノイズであるための条件を満たすことになる。そのような例を排除するために、極大値が4dB以上、好ましくは5dB以上という条件の外に、非等方性の平均値に関する条件を加えなければならない。ところで、非等方性の平均値については、非青色ノイズ特性を示す個別サンプルに関する下限値0.6dBと、青色ノイズ特性の限界を示す誤差拡散法のサンプルの上限値とが逆転してしまっていた。従って、確実な判定をするためには、下限値を上限値0.9dBより上に設定する必要がある。そこで、非等方性の極大値が3dBで、平均値がほぼ-5.5dBである誤差拡散法のドットパターンについて個別サンプルの平均値を調べたところ、下限が1.2dBとなった。新たにこの値を非青色ノイズ特性を示すドットパターンに関する非等方性の平均値の下限とする。なお、非等方性の-5.5dBという平均値は、極大値が0dBに達していないにも拘わらず弱いながらも虚像が見られるという意味で非青色ノイズ特性を示したFloydとSteinbergの誤差拡散法の $g = 7/8$ における平均値に相当する。このように、マスク法においても非等方性に関する二つの値にのみ基いてドットパターンが非青色ノイズ特性を持つという判定を下すことが出来る。その場合、誤差拡散法での二つの値は、等方的な場合の基準値を0dBとしたとき、極大値が10dB以上、平均値が3dB強以上であったが、マスク法では、極大値が4dB以上、好ましくは5dB以上で、平均値が1.2dB以上という条件になる。誤差拡散法においてUlrichneyが定義した青色ノイズの3特性のうち、(1)の「非常に低い非等方性」とは、マスク法においては上記二つの値を基準としなければならない。いずれの中間調処理方法にしろ、Ulrichneyによる青色ノイズ特性の定義に従えば、青色ノイズ特性を持つか否かは、非等方にしろパワースペクトルにしろ、どちらか一方のスペクトルからだけでは判定できない。個別サンプルが比較的良好な青色ノイズパワースペクトルを示すにも拘わらず、誤差拡散法としての非等方性の極大値が非青色ノイズであることを示す実例を以下に示す。Jarvisらの誤差拡散法における $g = 1/16$ の非等方性の極大値は、約1dBを示すので非青色ノイズであり、実際、ドットパターンには方向履歴現象による虚像が存在する。この階調において個別パターンのパワースペクトルを計算したところ、10サンプル中2サンプルで比較的良好な青色ノイズパワースペクトルを示した。この事実は、明らかに、マスク法においても青色ノイズか否かをパワースペクトルの特性のみでは定義できないことを示す。

【0063】青色ノイズ特性を示す振動誤差拡散法の場合では、参照できる6階調のうち、3階調は等方的、2階調では、平均値の基準値からの差の値が1dB以下、非等方性の強い階調でもその値が1.5dB程度であったので、マスク法の場合、非等方性の平均値で言えば、それが0.8dB未満であれば、振動誤差拡散法と同等の青色ノ

イズ特性を示すと言うことができよう。

【0064】ところで、青色ノイズマスク法で得られるドットパターンは、同方法に関わるすべての発明(特許公報 第2622429号、USP 5,111,310、USP 5,323,247、USP 5,341,228、USP 5,477,305、USP 5,543,941)に記載されているように、Ulichneyによる振動誤差拡散法のそれより等方的であるとされる。試作した3種類の大きさの青色ノイズマスクのそれぞれについて、まずマスク1枚分だけのドットパターンを生成してスペクトルを評価し、次に周波数特性を誤差拡散法と比較する際の基準サイズである256×256の画面にドットパターンを生成してスペクトルを評価した。

【0065】図74に128×128の大きさの青色ノイズマスク1枚分の32階調目のドットパターンに関する一次元パワースペクトル、図75に非等方性(anisotropy)を示す。

【0066】一次元パワースペクトルは低周波数成分が少なく、非等方性は全帯域の平均値として0dBを示すので、青色ノイズ特性を持つと言えよう。しかし周波数毎に見ると、0dBを中心とする振れがあり、非等方性の高いスペクトルの極大値は4dBを示す。この値自体は、Ulichneyにより示された振動誤差拡散法のそれより非等方的である。他の階調においても同様の特性を示したので、128×128の大きさの青色ノイズマスク1枚分だけのドットパターンの非等方性は平均値の意味で振動誤差拡散法より等方的である。

【0067】図76に128×128の大きさの青色ノイズマスクで256×256の画面に生成した32階調目のドットパターンに関する一次元パワースペクトル、図77に非等方性を示す。なお、256×256の青色ノイズマスクに関する値を破線で示した。まず、破線に注目すると極めて良好な青色ノイズ特性を示しており、特に非等方性は0dB±1.5dBの範囲にあり、他の階調においても同様の特性を示したので、256×256の青色ノイズマスク法は振動誤差拡散法より等方的で良好な青色ノイズ特性を持つと言える。

【0068】128×128の大きさの青色ノイズマスクに関しては、一次元パワースペクトルのノイズ成分に鋭いピークを持った孤立的スペクトルが多数乗っており、特に高周波数領域では孤立的スペクトルのみの様相を呈している。非等方性は、平均値として9dB程度を示し、極大値として10dBを越すスペクトルが複数存在する。分散ドットディザ法のスペクトルがすべて10dBを越す値を示すことを考慮すると、この青色ノイズマスクによる256×256の画面サイズでのドットパターンは極めて高い非等方性を示すことになるので、青色ノイズパターンではあり得ない。

【0069】以上をまとめると、128×128の大きさの青色ノイズマスクの場合、マスク1枚分のドットパターンは非等方性が平均値の意味で0dBを示すので青色ノイズ

特性を示すと言えようが、256×256の画面に生成したドットパターンは、青色ノイズ特性を持たないという結論を下すことが出来る。

【0070】図78に64×64の大きさの青色ノイズマスク1枚分の32階調目のドットパターンに関する一次元パワースペクトル、図79に非等方性(anisotropy)を示す。

【0071】また、図80に64×64の大きさの青色ノイズマスクで256×256の画面に生成した32階調目のドットパターンに関する一次元パワースペクトル、図81に非等方性を示す。256×256の青色ノイズマスクに関する値を破線で示した。他の階調においても両図と同様の特性を示した。

【0072】図78と図79によれば、64×64の大きさの青色ノイズマスク1枚のみに正るドットパターンは非等方性が平均値の意味で0dBを示すので青色ノイズ特性を示すと言えようが、極大値として4dBを示すスペクトルが複数存在するので、青色ノイズマスク法では、マスクが小さくなる程、ドットパターンの偏りが大きくなると言える。

【0073】図80によれば、このマスクにより256×256の画面に生成したドットパターンは、非等方性の平均値が14dBにも達し、青色ノイズ特性を持たない。

【0074】青色ノイズ特性とは、本来Ulichneyにより示された基準サイズ、256×256画素、のドットパターンに関して定義されている。この実験での64×64と128×128の大きさの青色ノイズマスクは、マスク1枚分のドットパターンは青色ノイズ特性を示すが、両者共基準サイズ内に生成されたドットパターンの周波数特性はこの定義から外れるので、Ulichneyによる振動誤差拡散法のそれより等方的であるとする明細書(USP5,111,310等)の記載と異なり青色ノイズ特性を持たない。以上のスペクトルに関する評価結果と、先の視覚的評価結果とを突き合わせて見る。

【0075】開示された青色ノイズマスク法により得られた異なる大きさの三枚の青色ノイズマスクの内、マスクサイズが256×256より小さい場合は、マスク一枚分によって生成されるドットパターン自体の等方性が、平均値の意味で振動誤差拡散法より良くても、256×256画素の標準画面サイズ内のドットパターンは極めて強い非青色ノイズ特性を示したが、視覚的にも、偏りのある小パターンの繰り返しが虚像として感知される結果となった。良好な青色ノイズパターンが得られるのは、等方性が振動誤差拡散法を明確に上回る256×256の大きさの青色ノイズマスクのみであった。

【0076】以上より、マスク一枚分の非等方性が平均値として等方的であることを示しても、原理上誤差拡散法と異なり同じパターンが繰り返されるマスク法においては、パターンの規模が小さくなると、ドット分布のわずかな偏り、即ち濃度ムラ、が目には敏感な周波数で繰り

返し現れる結果、視覚的には虚像として感知されることがわかった。

【0077】青色ノイズ特性に関わる理論体系を示した図68では、対偶において、「青色ノイズスペクトルを持たなければ、ドットパターンは視覚的に好ましくはない」ことを示している。即ち、青色ノイズマスク法も、基本的には図68に示された理論体系に従っているもので、256×256の基準となる大きさの画面より相当に小さなマスクの場合は、その対遇に忠実に従っていたことがわかる。

【0078】以上の検討結果より誤差拡散法で定義された青色ノイズ特性を青色ノイズマスク法で実現する際の周期性に関する原理的矛盾を解決するためには、少なくとも振動誤差拡散法の等方性より良好な等方性を得るために、自由度の大きい大型のマスクを用いなければならないということが明確に証明された。分散ドットディザ法のマスクサイズは $16 \times 16 = 256$ であったから、600dpiのプリンタでの実用的な青色ノイズマスクサイズ256×256は、その256倍もの大きさとなる。

【0079】256×256のマスクサイズの青色ノイズマスクで生成した256×256の画面サイズでのドットパターンの非等方性は、振動誤差拡散法より良好な値を示した。しかし理論的には、そのドットパターンに関し、それより大きい、例えば512×512の画面サイズで非等方性を評価すると10dBを超える値を示し、青色ノイズ特性を持たない。それにも関わらず視覚的には虚像が感知されないの、図68に示した青色ノイズ特性の理論体系に従ってはいないかのように見える。

【0080】このような場合には、図68の理論体系は、ドットパターンがマスク法のような周期性を持たない誤差拡散法に関し定められたものであって、その周波数特性を評価する際の妥当な大きさとして256×256の画面サイズを用いたということを想起する必要がある。即ち、図68の理論体系は、それをマスク法に適用した場合は、256×256の画面サイズのドットパターンでスペクトルを評価して、振動誤差拡散法より優れた等方性、一様性を持てば、それが目に敏感ではない長周期で緊ぎ目なしに繰り返されても視覚的に感知されないことを示しているとするべきである。

【0081】逆に言えば、振動誤差拡散法より高い非等方性、即ちドット分布の隔りを持つドットパターンは、その隔りが視覚的に敏感な間隔で分布すれば、虚像として感知され得ることを示していることになる。600dpiのプリンタでの実験はまさにこの事実を証明したことになる。

【0082】ところで、開示された別の青色ノイズマスクの作成法(USP 5,477,305)では、入出力特性の非線形の写像を可能にするため、累積型分布関数を変更するのに十分な自由度を持つ大きさ、例えば、256階調では256×256のマスクを必要とすることが述べられている。他

方、すでに示したように、青色ノイズマスク法の発明では、Ulichneyの示した振動誤差拡散法よりも等方的な青色ノイズパターンが得られると記されている。しかし、上記実験結果によれば、プリンタの精細度が同方法の発明当時平均的に想定された内の最高の精細度である500dpiより若干高く600dpiとなった場合においてそのような青色ノイズパターンを得るには、自由度の大きい256×256という大型のマスクを必要としたことになる。

【0083】また、600dpiのプリンタで256×256の青色ノイズマスクが実用的であるからと言って1200dpiのプリンタで実用になるという保証はない。実際に、超高精細レーザープリンタ(Cymbolic Sciences International Inc. 製)を用いて実験を行なった。精細度は1016dpiと2032dpiの二種類とした。256×256の青色ノイズマスクの画面上での大きさは、精細度が1016dpiの場合6.4mm角、2032dpiでは3.2mm角となる。精細度が1016dpiの実験では、120階調よりも低い階調では粒状感が強く、160階調よりも高階調でコントラストは低いがマスクの大きさに対応する周期性が感知された。精細度が2032dpiでは、1016dpiでの実験に比べ粒状感は少ないが、160階調よりも高階調でコントラストの高いマスクの大きさに対応する周期性が感知された。このように1200dpi程度以上の高精細度を持つプリンタに対しては、好ましい視覚特性を得るための青色ノイズマスクの大きさは256×256よりも大きくする必要がある。

【0084】他方、分散ドットディザ法のマスクサイズはプリンタの精細度とは基本的に無関係であり、プリンタの精細度が上がる程好ましい視覚特性が得られる。

【0085】次に青色ノイズマスク法固有の問題であるドット分布のムラについて分散ドットディザ法と比較検討してみた。

【0086】600dpiの精細度を持つプリンタを用いた場合、256階調の分散ドットディザ法のマスクサイズは0.6mmとなる。階段状のグレースケールを出力した限り、ドットパターンの一様性は、青色ノイズマスク法よりも規則性の高い分散ドットディザ法の方が当然優れている。58万画素程度のCCDセンサーを用いたデジタルカメラで撮影した自然画像を入力画像とした場合、その画面中に出力画面上に換算して0.68mm程度以下のある程度のコントラストを持った周期的パターンが含まれていなければ、モアレも発生せず、青色ノイズマスク法で得た出力画像との画質の違いはほとんど感知されなかった。ただし、グレースケールの場合、50階調目程度までの奇数階調では、マスクサイズとしての0.68mm周期のドットパターンが目につく。

【0087】プリンタの精細度が1200dpiになると、分散ドットディザ法の視覚的な一様性はさらに向上し、低階調においてもマスクサイズである0.34mm周期のドットパターンは、ドット自体が小さくなることもあいまって目につかなくなる。従ってVGA方式(640画素×480画



案)対応の 1/3インチ35万画素クラス程度のCCDイメージセンサーを用いたデジタルカメラで撮影した画像を、1200dpiのプリンタを用いて手札判の大きさ(8cm×12.5cm)で出力するような場合であれば、分散ドットディザ法は十分実用的であると言える。

【0088】なぜなら、この画面上でモアレの原因となる0.34mm程度前後の局所的な周期を持つパターンは、センサー面上では17μm程度前後の周期性パターンとなり、センサーの最高分解能である20μm以下なので、入力画像中にその近傍の周期を持つパターンがあったとしても十分なコントラストで分解出来ず、明瞭なモアレとはならない。実際に、イメージセンサーは、補色または原色のカラーフィルターを持ち、像を持つ周期的パターンとのあいだにモアレが生じるのを防ぐため、通常ローパスフィルターを備えているので、分解能はさらに最高分解能の7乃至8割りに低下し、長さに変換すると25~29μm程度となり、コントラストも低下するからである。

【0089】このような場合、分散ドットディザ法のマスクの大きさは青色ノイズマスク法のマスクの大きさに比べ、1/256以下で済むため、コンピュータを介さず、デジタルカメラに記録した画像を直接プリンタで出力するいわゆるダイレクトプリントシステムでは、マスクの閾値を記憶しておくROMの容量が小さいことはコスト的に有利となる。

【0090】最近、130万画素前後の1/2インチCCDイメージセンサーを備えたデジタルカメラが、10万円以下の定価で多くのメーカーより市販されるようになって来た。このようなデジタルカメラの場合、衣服等の細かい模様も鮮明に記録される。

【0091】従ってそのような入力画像を1200dpiのプリンタと分散ドットディザ法により二値化し手札サイズに出力すると、虚像としてモアレが発生する場合が有り得る。このようなデジタル画像システムでは、マスクサイズが大きく、かつマスク自体が周期性を持たない青色ノイズマスク法は、原理上モアレが発生しないという意味で有利である。ただし、CG画像のように、一般的に言ってあまり細かい周期性パターンを持たない入力画像の場合は、一様性という点では相変わらず分散ドットディザ法が優れていると言える。

【0092】因みに自然画像のみを対象とする限りにおいて、処理時間の問題を除けば、600dpiのプリンタで誤差拡散法を用いた場合の画質は、子細に比較すれば、青色ノイズマスク法の画質を若干上回る。しかし、1200dpiになると、画質に関する誤差拡散法と青色ノイズマスク法との差はほとんど感知出来なくなり、処理速度の点で青色ノイズマスク法が優位となる。

【0093】以上説明したように、現時点での最先端のコンシューマー用デジタル画像処理システムで用いられる出力装置としてのプリンタの精細度は、青色ノイズ

マスク法が発明された8年前に比べ格段に進歩し、低くて600dpiから700dpi、高く1200dpi程度と2極分化しつつある。また、当時は存在しなかった入力画像機器としてのデジタルカメラにも精細度に高低二つのクラスが普及しつつある。

【0094】このようにシステムが多様化した状況においては、青色ノイズマスク法が中間調処理法としてすべてのシステムに対して最適な解とはなり得ないことが明確となった。即ち、その差は縮まったものの、600dpi程度の精細度における画質面では依然として誤差拡散法の方が優れ、1200dpi程度になると分散ドットディザ法の方が有効であるシステムが存在する。

【0095】従って現状から今後のシステムを見通し、およそ600dpi以上の精細度を持つ出力装置を前提としたとき、最適な解は、当然のことながら、システムに応じて処理法を使い分けることではなく、分散ドットディザ法の、高速度およびマスクが小型でありながら一様性が良い、という特徴を生かす一方、マスクが小型でかつ周期性を持つことに起因して、虚像が生ずるという欠点を取り除いたマスク法にあることは明らかである。本実施の形態はそのような方法の提供を目的とする。

【0096】このような理想的なマスク法を考案するにあたって考慮すべき重要な要素は、自然画像を入力画像とするときに、記録された自然画像に含まれ得る周期的パターンの特性、即ち、空間周波数とコントラストであり、さらには、中間調処理をされた出力画像を見る目の特性、即ち目の周波数応答性である。既に示したが、1mm前後から数mmの周期的パターンに対する目の感度が高いことを十分に考慮しなければならない。ただし、ここで言う周期的パターンとは、濃淡がサイン関数的に変化し、コントラストが1の場合であることを念頭に置く必要がある。

【0097】これらの要素と直接係るシステム側のパラメーターをプリンタを例にとり示すと、これまでの検討結果から明らかなように、下記の4点である。

【0098】

- (1) プリンタの画素率(dpi)      (2) 出力画像の画面サイズ
- (3) マスクサイズ                      (4) 階調数

【0099】新規なマスク法の開発に当たって現時点で考慮すべき上記パラメーターの値の主要範囲は以下の通りである。

【0100】(1)については、600dpi以上、1200dpi程度、(2)については、手札版からA4サイズ、(3)は128×128以下(256階調、600dpiでの青色ノイズマスクの最適サイズの1/4以下)、(4)は、256以上である。

【0101】(3)のマスクサイズを青色ノイズマスクの最適サイズの1/4以下とした理由は、ダイレクトプリントシステムのコストダウンのためである。

【0102】青色ノイズマスク法と分散ドットディザ法

とのドットパターンは、低周波数成分が少ないという共通の特性を別にすれば、前者はランダム性（スペクトル空間で言えば、等方性）、後者は規則性（スペクトル空間で表せば、非等方性）と、全く相反する特性を持っている。

【0103】青色ノイズマスク法に規則性を導入した例としては、ドットゲインの問題を軽減する目的で、青色ノイズマスク法の128階調目に分散ドットディザ法の128階調目と同様のチェッカーボードパターンを用いる方法がある（M. Yao and K. J. Parker, Proc. SPIE, vol. 2411, pp. 221-225, 1995）。ただし、ドットゲインの問題を軽減するためには、128階調目では、相互に隣り合った  $2 \times 2 = 4$  画素を正方形の1画素としなければならない。このチェックマスクで生成されるドットパターンは、中央の128階調目がコントラストの最も高い二次元周期性パターンとなるため、入力画像にその周期に近いコントラストの高い周期性パターンが含まれていると、当然虚像としてのモアレが現れることが予測できる。実際に周期性パターンを持つ被写体を58万画素のデジタルカメラで撮影し、 $256 \times 256$ のチェックマスクで階調処理し、600dpiのプリンタを用いて出力した手札版サイズの半分程度の大きさの画像には、はっきりした虚像としてのモアレが観測された。このマスクを用いて出力した画像の画質は本来の青色ノイズマスク法や分散ドットディザ法の画質よりも明らかに悪い。

【0104】チェックマスクの128階調目に分散ドットディザ法の128階調目と全く同じチェッカーボードパターンを用いて同様の実験を行なった。

【0105】細かい周期性を持つモアレチェック用パターンを入力画像としてこのチェックマスクで処理し、600dpiのプリンタを用いてキャビネ版の大きさに出力した同様の画像には、コントラストは低い、やはり虚像としてのモアレが観測された。全体的な画質は、分散ドットディザ法よりは優れているが、本来の青色ノイズマスク法の画質と比べると、モアレが出る可能性が十分あるという意味で当然劣ることになる。

【0106】これら $256 \times 256$ の大きさの二種類のチェックマスクによるドットパターンの非等方性は128階調を挟んでかなりの低、及び高階調まで極めて高い極大値を持つが、そのような場合でも、非等方性の平均値は低く、ほぼ0dBとなる。そこで、これら二種類のチェックマスクに関し、それぞれ大きさについても  $256 \times 256$ 、 $128 \times 128$ 、 $64 \times 64$  の3種類を用意し、先に示した階調が階段状に変化するグレースケールを作成した。どのチェックマスクも低階調でのドットの分布の様子は通常の青色ノイズマスクのそれと同様であった。また、 $128 \times 128$ や、 $64 \times 64$ の大きさのチェックマスクによるグレースケールには、図72や図73同様、マスクの大きさに対応するドットパターンの繰り返しによる虚像が感知された。

【0107】図68に示された青色ノイズ特性の理論体系は、視覚的に好ましい画像を得るには、出来るだけ周期性を排除しなければならないことを示している。従って、上に示したチェックマスクによる実験は、この体系に対し単純に周期性（非等方性）を導入することは、原理上、画質がより劣化することにつながることを実証したことになる。

【0108】規則的な組織的ディザ法に不規則性を導入する試みは、集団ドットディザ法においてなされて来た。AllebachとLiu（J. Opt. Soc. Am., vol. 66, No. 9, p. 909 (1976)）はスクリーンによるモアレの発生を防ぐため個々のドット（集団ドットディザ法でのドット集団に相当）の中心位置に擬似周期性を導入した。図82にそのスクリーンでのパターンの概略を示す。同図においてドット1個分を含む区画をセルと呼び、セル9個分をブロックと呼ぶ。ここで、正規の位置からずらした上記ドットの中心の位置は、境界を含む各セルの内部に限られるので、不規則性と言っても、ある規則性を持った不規則性である。

【0109】階調数を256階調とした場合、1階調目と255階調のドットパターンが青色ノイズ特性を示すように出来る。ただし、高階調になればなるほどドットの集団が大きくなるという集団ドットディザ法の特長は変わらないので、現状程度の精細度を持ったプリンタには適さない。また、1階調目にせよ青色ノイズ特性を持つマスクを実現するためには、既に青色ノイズマスクに関して示したように、セルの数を多くし、ブロック（マスク）自体を大型にしなければならないので本発明の目的にはそぐわない。

【0110】集団ドットディザ法におけるマスクの規則性に変化を導入した試み（USP 4,752,822）を以下に示す。図83に同方法における閾値マトリックスの一例を、図84に、同マトリックスによって生成された1階調目のドットパターンを示す。

【0111】この方法では、2種類の変化が見られる。一つは、図83に示されたように、奇数階調目の部分閾値マトリックスと偶数階調目の部分閾値マトリックスを設け、閾値が配置されるべき空間を分割することにより解像力を40%高め、第2に、同じく図83に示されたように、部分閾値マトリックスの形を十字型にし、プリンタの主走査方向と、マスクが配列される方向とに傾きを与えたことである。実際、1階調目は、図84に見られるように、通常の集団ドットディザ法における1階調目に比べれば僅かに不規則なドットパターンとなっている。この方法でも、2階調目以降はドット集団の規則的な配列が一定の角度傾いて得られる（スクリーンの角度を傾けたことに相当）ことになるので、解像力を40%高めたとはいえ、精細度の低いプリンタでは実用的ではない。ただし、この方法によれば、主走査方向とドットの配列方向とが平行ではなくなるので、主走査や副走査に

不一樣性があつた場合、それぞれの走査方向に筋ムラが生ずるという課題を軽減できる。

【0112】ところで、既に述べたように、通常の集団ドットディザ法と分散ドットディザ法では再現すべき階調数が同じであれば1階調目のドットパターンは全く同じであつた。従つて、上記の方法で得られた集団ドットディザ法における1階調目のドットパターンを分散ドットディザ法の1階調目とし、さらに当該方法の2階調目以降にも規則性のある程度残したまま弱い不規則性(振動)を導入し、同方法の持つ各種虚像の発生原因を取り除くといった方法が考えられる。

【0113】なお、誤差拡散法において極めて高い非等方性の値を示す周期性を導入した例がある(USP 5,109,282)が、そこに示された一様階調でのドットパターン(Fig.14B及びFig.15B)にも強い周期性が現れており、簡単な実験でモアレが現れることを証明出来る。チェックマスクの場合と同様、図68に示された青色ノイズ特性に関する理論体系に周期性、従つて非等方性を導入することは、原理上、画質劣化につながるがこの方法でも証明された。

【0114】本実施の形態は、基本的には、分散ドットディザ法のドットパターンの持つ各種の周期性を保存しつつ、そこに弱い不規則性(振動)を導入したマスク法である。従つて、600dpiのアリントを用いた場合、本方法による一枚のマスクの大きさは、大きくても青色ノイズマスクの最適サイズ256×256の1/4(128×128)、小さい場合は、1/16(64×64)、実質的には1/25程度にまで小さくできる。

【0115】さらに、本方法による一枚の小型マスクが作るドットパターンの非等方性は、各種の周期性を反映し、青色ノイズマスク法とは逆に、Ulichneyの示した振動誤差拡散法の非等方性よりも高く、比較可能なすべての階調で全周波数帯域における非等方性の平均値が1.2dB以上で、極大値が4dB以上、好ましくは5dB以上を示す。これらの値は、先に、マスク法でドットパターンが例外なく非青色ノイズ特性を持つための条件であることが示された。他の階調においても、同様の非青色ノイズ特性を持つことが示されるので、本発明のマスクにより形成されるドットパターンは、すべての階調において非青色ノイズ特性を持つと言える。マスクの規模を、外形は同じとし、内部の周期性を高めて記憶容量の意味で実質的に小さくすると、全階調において、平均値、極大値とも非等方性が一層増すことになり、顕著な非青色ノイズ特性を持つことになる。従つて、出力画面の大きさを基準となる256×256画素にして評価すると、一枚のマスクが作るドットパターンが4回以上繰り返されることになるので、その場合の非等方性は全階調における平均値そのものが、極めて非等方的とされるべき値としての10dB程度からそれを十分越える値を示すことになり、Ulichneyの示した振動誤差拡散法とは比較にならぬ程高い非

等方性を示す。

【0116】このように、いずれの画面サイズであつても、128×128や、64×64の青色ノイズマスクを用いた場合よりも高い非等方性を示すにも拘らず、ドット分布の一樣性が高いことと、適度に入つた不規則性のため、画面上でマスクの大きさが数mm程度となつても、マスク一枚分のドットパターンの繰り返しが比較的に目立たず、モアレが発生することもない。先に示した四つのパラメーターの範囲において、既知のマスク法に比べ、視覚的に最も好ましい中間調を再現できる。

【0117】従つて、本実施の形態のマスク法における理論体系(scheme)は、これまでの青色ノイズ特性に関する理論体系(図68)と全く異なり、図1に示したように、青色ノイズスペクトルを持たない方が、視覚的に好ましいドットパターンが生成されることになる。言い換えるなら、青色ノイズ特性に関する理論体系においては、視覚的に好ましいドットパターンを得るために出来るだけ排除すべき周期性(非等方性)を、本実施の形態の理論体系では、逆に、特に非等方的とされる程度にまで取り入れることにより、小型のマスクでありながら、大型の青色ノイズマスクが生成するドットパターンと同等かそれよりも視覚的に好ましいドットパターンが得られることになる。さらに補足するなら、このような好ましい視覚特性は、出力装置の精細度が上がる程、容易に得られることになる。

【0118】本実施の形態におけるマスクは四つの基本的規則性を持つ。これらの規則性は、分散ドットディザ法のマスクや、分散ドットディザ法が持つ規則性を受け継いだものである。マスクの持つ規則性とそれによって生成されるドットパターンの規則性は1対1に対応している。従つて、分かりやすいように、再現すべき階調数を256階調とし、実空間におけるドットパターンの持つ四つの規則性を以下に列挙する。なお、256階調の分散ドットディザ法のマスクの大きさは16×16であり、本方法のマスクはその整数倍の大きさを持つ。本実施の形態においては、この16×16の大きさのマスクを要素マスク、その整数倍の大きさのマスクを単位マスクと呼ぶ。画素空間では、要素マスクに要素画素区画が、単位マスクに単位画素区画が対応する。なお、要素画素区画を四等分した大きさの区画を部分要素画素区画と定義する。

【0119】以上の用語を用いると、四つの規則性は以下のように表現される。(1) 16×16の要素画素区画内のドットの分布が全階調で全く同じとなる要素画素区画の組を持つ。(2) 1階調目のドットパターンは分散ドットディザ法と同一とする。(3) すべての階調で16×16の各要素画素区画内のドットの数を同数とする。(4) 4n階調毎に8×8の各部分要素画素区画内のドットの数を同数とする。

【0120】上記四つの規則性とそれらがもたらす作用

について図2を用いて説明する。

【0121】図2は、分散ドットディザ法の1階調目のドットパターンの一部を示す(図69の一部に同じ)。同図において、各16×16の画素区画は、分散ドットディザ法における16×16の大きさのマスク一枚分が生成するドットパターンの大きさに相当し、黒く塗られた画素が1階調目に打たれたドットである。本実施の形態の方法においても、基本的には規則性(2)に従い、1階調目のドットパターンは図2に一致させる。

【0122】規則性(2)の作用は、以下の通りである。自然画像においては、コントラストの高い精模様は、人工物としての衣服の模様、織り目、編み目や、建造物の壁面、格子などにおいてよく見られる。これに対し、コントラストの非常に低い精模様は、それが規則的であればあるほど自然界に存在する割合が少なくなる。さらに、ビデオカメラやデジタルカメラで撮影する画像においては、撮像素子のダイナミックレンジが狭いため、コントラストの非常に低い精模様は殆ど記録されない。また、コントラストの非常に低い精模様は、もともと目に不快なパターンとして認識されることはない。

【0123】さらに、600dpiのプリンタを用いた場合でさえも、1階調目のドットパターンは、ドットからドットまでの周期としては確かに0.68mmと目で分解出来る距離にはあるが、白黒同じ幅を持つ線状パターンと異なり、黒いドット自体は直径約40μm(0.04mm)と、ドット間隔に比べ非常に小さいので、周期性パターンとしては感知し難い。従って、入力画像にこのような低い階調で類似周期を持った線状パターンがあっても、出力画像の基本は、1階調目のドットパターンであるので、目に不快な程のコントラストを持ったモアレ(虚像)が生じる恐れは全くない。

【0124】他方、一様で低階調な出力画像では、ドットパターンの一様性は、すでに図69に分散ドットディザ法の1階調目を示したように、規則的な方が、図70に示した青色ノイズマスク法の1階調目のランダムなドットパターンよりも圧倒的に良い。本規則性は、(1)、(3)、(4)の規則性と相まって、入力画像の低階調領域におけるなだらかな階調の変化の再現性を高めることに寄与する。また、20階調目程度までの各低階調におけるドットパターンの一次元周波数特性は、1階調目に打たれたこの規則的パターンによる孤立スペクトルを有し、高い非等方性を持つ。言い換えるなら、規則性(2)は、低階調におけるドットパターンの一様性を高めると同時にマスク自体に周期性、従って非等方性を導入する作用を有する。

【0125】図2において、太い線によって区切られた16×16画素が、分散ドットディザ法のマスク1枚分によって生成されるドットパターンが占める画素区画であり、画面上では同じドットパターンが16画素を1周期として縦方向と横方向とに整然と周期的に並ぶことにな

る。上記規則性(1)で言う要素画素区画とは、この16×16の大きさの画素区画を指す。すでに述べたように、本実施の形態のマスクは、この16×16の大きさの要素マスクを整数個並べた大きさを持つ。従って、本実施の形態の方法は、規則性(3)により、2階調目以降に打たれる各ドットの位置は異なるにしろ、16×16の各要素画素区画内に打たれるドットの数はいずれの階調においても、分散ドットディザ法と同一になる。なお、本実施の形態において要素マスクを整数個並べたマスクを単位マスクと呼ぶが、その形状は正方形に限らない。

【0126】分散ドットディザ法の3階調目のドットパターンの一部を図3に、4階調目のドットパターンの一部を図4に示す。

【0127】これら二つの図において、点線で区切られた各8×8の画素を有する区画が規則性(4)における部分要素画素区画を指す。図4に示したように、分散ドットディザ法においては、1階調目には、左上の部分要素画素区画内の画素1にドットを打ち、2階調目には右下の部分要素画素区画内の画素2にドットを打ち、3階調目には右上の部分要素画素区画内の画素3にドットを打ち、4階調目には左下の部分要素画素区画内の画素4にドットを打ち、5階調目には、再び左上の部分要素画素区画内の画素に、と矢印でその順番を示したように、8×8の各部分要素画素区画にドットを打つ順番が4階調分を1周期として予め決められている。

【0128】従って、分散ドットディザ法においては、 $n$ を整数として、 $4n$ 階調毎に8×8の各部分要素画素区画内に打たれたドットの数が同一となる。このように、2階調目以降に打たれるドットの各位置は分散ドットディザ法とは異なるが、打たれるドットの数に関する本実施の形態の規則性(4)は、分散ドットディザ法が持つ規則性と同一である。

【0129】これら規則性(3)、(4)の作用は、分散ドットディザ法がそうであるように、明らかに、ドット分布の一様性を高めることである。後に説明するが、本実施の形態における各ドットの位置を決めるためのアルゴリズムは、各ドット間の距離を階調に応じた所定の値に近付ける作用(ドット分布の一様性を高める作用)を持つ。これら二つの規則性は、その作用と相まって、強力に一様性を高める働きをする。

【0130】規則性(1)とその作用を図4を用いて説明する。本実施の形態の単位マスクが16×16の大きさの要素画素区画を例えば4×4=16個、正方形に並べた大きさを持つとする。図4がそのようなマスク一枚分によって得られるドットパターンの一部を示すものとしたとき、図4において、チェッカーボード状にグレーで表した要素画素区画5、6、7を全く同じパターンとすることが規則性(1)である。分散ドットディザ法のドットパターンはもともと図4に示したように一つの要素画素区画のドットパターンを縦横整然と並べて得られるの

で、各要素画素区画すべて同一であったから、この規則性(1)も、ある  $16 \times 16$  の画素区画の中のドットパターンと全く同じドットパターンが他の要素画素区画にも繰り返し現れるという意味で分散ドットディザ法のドットパターンの持つ規則性に一致する。

【0131】また、この規則性(1)を、マスク自体が持つ周期性と見れば、2階調目以降、分散ドットディザ法の各ドットの配置自体、マスク内で周期性を持つので、分散ドットディザ法のマスクが持つ規則性とも一致する。

【0132】従って、この規則性(1)には二つの作用がある。マスクの大きさを仮に  $64 \times 64$  としたので閾値マトリックスの要素が4096個ある。しかし、閾値の配列を全く同じにした要素マスク 8個については、読み出し方を工夫すれば、一個分の閾値マトリックスがあれば済むので、マトリックスの要素は  $(16 \times 16) \times 9 = 2304$  個となり、必要なメモリ容量が半分強で済むという作用をもたらす。

【0133】小型マスクの大きさよりもさらに小さいスケールを持った周期性を局所的な周期性と呼ぶならば、この規則性(1)はそのような局所的な周期性を導入する作用もあることはすでに述べた。即ち、この規則性は、規則性(1)と同様、マスク自体に非等方性を導入する作用もある。従って、限度はあるが一般的に言えば、閾値の配列を全く同じにした要素マスクの組を多く持てば持つ程、マスク一枚で生成されるドットパターンの非等方性が強くなるという結果がもたらされる。

【0134】本マスク作成のためのアルゴリズムに関するフローチャートの概略を図5に示す。図5において、ステップS1からS3までは、これまでの説明により、各規則性との関係が明らかにされた。即ち、ステップS1で規則性(1)、ステップS3で規則性(2)が導入された。

【0135】次に2階調目のドットパターンに弱い不規則性(振動)を導入するステップS4について、その一例を図6によって説明する。

【0136】図6は  $16 \times 16$  の要素マスクを  $4 \times 4 = 16$  個並べた単位マスクにより生成した2階調目のドットパターンの一部を示す。  $16 \times 16$  画素を持つ個々の要素画素区画 5~10の内、グレーで塗った5、6、7の各要素画素区画に対応する要素マスクは、図5、ステップS1により、1~255までの全閾値の配列が全く同じになるように決められている。残りの要素画素区画 8、9、10の2階調目以降は、相互に独立したドットパターンとなる。

【0137】図6において、例えば要素画素区画5の各画素の横の並びを行、縦の並びを列として、各画素の位置を  $(i, j)$  で表した時、 $(4, 4)$  の画素に打たれたドットは図5のステップS3の段階で打たれた1階調目

のドットであり、従ってすべての要素画素区画の  $(4, 4)$  の画素にドットが打たれている。このドットパターンは、組織的ディザ法の1階調目のドットパターンに一致する。

【0138】図5のステップS4において、1階調目の周期的ドットパターンに2階調目に加えらるる擬似周期的パターンについて説明する。

【0139】図6の要素画素区画5において、 $(12, 12)$  の画素に打たれたドット2が2階調目に打たれたドットである。従って同じ閾値配列を持った  $16 \times 16$  の大きさの要素マスクに対応する他の要素画素区画 6、7の  $(12, 12)$  の画素にもドットが打たれている。因みに、これらのドットによるパターンは、分散ドットディザ法の2階調目に打たれるドットパターンに含まれている。

【0140】それぞれが異なる閾値配列を持った要素マスクに対応する要素画素区画 8、9、10に2階調目で打たれるドット位置は以下のようにして決められる。

【0141】それぞれの要素画素区画の中に、 $(12, 12)$  の画素を中心とする  $7 \times 7 = 49$  の画素からなる小画素区画 11~13を設ける。先に各要素画素区画内の1階調目のドット位置を  $(1, 1)$  画素から  $(4, 4)$  画素へと移動させておいた訳は、これらの小画素区画を各要素画素区画内の右下の  $8 \times 8$  画素の大きさを持った部分要素画素区画内に納めるためであった。次に、それぞれの小画素区画の中からランダムに1画素を選びそこにドットを打つ。

【0142】以上のように、2階調目で打たれるドットは、分散ドットディザ法の2階調目のドットパターンに弱い不規則性(振動)を加えたパターンとなる。またこのドットパターンは、1階調目のドットパターンと同じ基本周期を持っているので、擬似周期性パターンである。この過程S4で、小画素区画 11~13の大きさを  $5 \times 5 = 25$  画素とか、  $3 \times 3 = 9$  画素とかより小さくすることにより、導入する不規則性の程度をより小さくできる。従って、3階調目以降の各階調におけるドットパターンの骨格は、基本的には、2階調目までに導入するこの弱い不規則性によって決定付けられる。このようにして導入される弱い不規則性は、3階調目以降のドットパターンを生成する本実施の形態のアルゴリズムと相まって、分散ドットディザ法が持っていた周期的な虚像が現れ易いという欠点を殆ど取り除くという作用をもたらす。

【0143】図5において、3階調目以降のドットパターンを生成するステップS5について図7、8、9を用いて説明する。

【0144】3階調目以降、各階調毎に新たに打つドットの位置を決めるアルゴリズムは、3階調目のドットパターンを決めるアルゴリズム、即ち、2階調目までにドットが打たれている画素すべてに一定の形状を持った図7に示す斥力ポテンシャル  $P(r)$  を付与し、  $16 \times 16$  の各要素画素区画の内部でそのポテンシャルが最小になる1画素を新たなドットを打つ画素と決めるというアルゴリ

ズムと基本的に同様である。

【0145】ここで、規則性(1)に従う要素画素区画は、例えば先ず要素画素区画5についてドットを打つ画素が決まれば、要素画素区画6、7については、一々ポテンシャルの計算をすることなく、自動的に要素画素区画5で打つことが決まった画素と同じ位置の画素にドットを打つことにする。

【0146】2階調目までは、図6に示したように、 $16 \times 16$ の各要素画素区画内に打たれたドット数は2個で、規則性(3)を満たしていたから、以上に示したような各階調で新たに打つドットの位置を決めるアルゴリズムに従えば、3階調目以降のすべての階調でこの規則性が満たされることになる。

【0147】斥力ポテンシャルは、固体物理学で使われるポテンシャルである(C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 6th ed. (John Wiley & Sons, 1986):邦訳、固体物理学入門(上)第6版、宇野良清他(丸善、1988) p. 68)。その関数形は、 $\lambda$ 、 $\rho$ をパラメータとし、 $r$ をポテンシャルの中心からの距離としたとき  $P(r) = \lambda e^{-r/\rho}$

で与えられる。3次元と2次元の違いはあるが、本実施の形態で用いられる斥力ポテンシャルを次式で定義する。

$$P(r) = e^{-\alpha r} \quad (2)$$

ただし、階調数を  $g$  として

【0149】

【外2】

$$\alpha = \frac{\beta}{\sqrt{256/g}} \quad (3)$$

とする。ここで、

【0150】

【外3】

は各階調  $g$  において、ドットが一様に分布しているとしたとき、ドット間の平均距離が比例すべき長さ(距離)に相当する。この場合、階調数が大きくなる程ドットの密度が上がり、 $\alpha$ が大きくなるので、斥力ポテンシャルは  $r$  に関し急速に減衰する関数となる。斥力ポテンシャルの階調数依存性をなくす場合には、(3)式において機械的に、 $\alpha = 256$  とすれば良い。

【0151】図7において、画面上、ポテンシャルを付与する画素の位置を原点としたときの直交座標系の横軸を  $x$  軸、縦軸を  $y$  軸とする。 $r_{\max}$  は、そこから先のポテンシャルを零とする原点からの距離である。距離の単位は、隣り合った画素間の距離、即ち、画素の一边の長さ  $s$  である。

【0152】階調数依存性を持つ斥力ポテンシャルの一例を図8に示す。このポテンシャルでは  $\beta = 0.4$ 、 $r_{\max} = 128(s)$  とした。同図からわかるように、階調数が大きくなり、ドットの密度が上がるに連れ、斥力ポテンシ

ャルは急速に減衰する。

【0153】このような斥力ポテンシャルを用い3階調目以降のドットパターンを作成する方法を図9を用いて説明する。

【0154】図9において、簡単のため単位マスクは小規模で  $32 \times 32$  の大きさを持つとすると、画素空間では、 $16 \times 16$  画素の大きさの四つの要素画素区画、14、15、16、17 からなる  $32 \times 32$  画素の大きさの単位画素区画18がそれに対応していることになる。ここで、要素画素区画14と17は、規則性(1)に従い全階調で全く同じドットパターンを持つ要素画素区画の組とする。さらに、単位マスクの配列の仕方は、画素空間では、単位画素区画18を  $x$  方向と  $y$  方向のそれぞれの方向に密に敷きつめた配列に対応しているとする。

【0155】単位画素区画18において、それぞれの要素画素区画内には、規則性(2)に従う1階調目のドット23、24、25、26と2階調目の4個のドットとが既に打たれている。

【0156】この段階で、個々の要素画素区画の中の四つの  $8 \times 8$  の部分要素画素区画の中でドットが打たれた二つの部分要素画素区画を記憶しておき、4階調目のドットパターンが完成するまでそれらの部分要素画素区画には新たなドットを打たないようにする。この規制は、規則性(4)を実現するために設ける。

【0157】斥力ポテンシャルが値を持つ最大半径  $r_{\max}$  は、簡単のため、画素間距離を  $s$  として  $13s$  であるとする。この斥力ポテンシャルを要素画素区画15内に打たれた1階調目のドット23に付与する仕方を説明する。

【0158】このポテンシャルが単位画素区画18内に及ぶ範囲は実線27で示してある。単位画素区画14の左側の境界から外部にはみ出し、外縁を一点鎖線28で表したポテンシャルの部分については、そのままの形で右側の境界の内部に平行移動する。ポテンシャルのこの部分は、単位画素区画18の右隣に位置する単位画素区画15中、単位画素区画14内の1階調目のドット23に対応する同じく1階調目のドット31に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画18の内部に及ぼすポテンシャル32に等しい。

【0159】単位画素区画18の上側の境界から外部にはみ出し、破線で表したポテンシャルの部分29については、そのままの形で下側の境界の内部に平行移動する。ポテンシャルのこの部分は、単位画素区画18の下隣の単位画素区画16中、単位画素区画18の1階調目のドット23に対応する同じく1階調目のドット33に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画18の内部に及ぼすポテンシャル34に等しい。

【0160】単位画素区画18の左斜め上の単位画素区画14にはみ出し、点線で表したポテンシャルの部分30については、そのままの形で右下隅に平行移動する。ポテンシャルのこの部分は、単位画素区画18の右斜め下の単

位画素区画18 の1階調目のドット23に対応する同じく1階調目のドット35に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画18 の内部に及ぼすポテンシャル36に等しい。

【0161】同様の方法で、単位画素区画18 の内部に打たれたすべてのドットに斥力ポテンシャルを付与し終えたとすると、単位画素区画18 の内部にそれらすべての斥力ポテンシャルを足し合わせたポテンシャルの分布が出来る。

【0162】次に、単位画素区画18 の内部で、先に足し合わせた斥力ポテンシャルが最小になる画素37に3階調目のドットを打つ。同時に要素画素区画17 の内部で、画素37に対応する位置にある画素38に3階調目のドットを打ち、それらの画素37 と38とに斥力ポテンシャルを付与し、すでにあるポテンシャルの分布に重ね合わせる。この段階でドットが打たれた要素画素区画とそれに属する部分要素画素区画が記憶され、それぞれ 4階調目のドットが打ち終わるまで新たなドットを打たないように規制して規則性(3)と(4)を実現する。

【0163】以上で得られた斥力ポテンシャルの分布に関して、3階調目のドットが打たれずに残された要素画素区画15 と16の内部で、その値が最小になる画素に3階調目のドットが打たれ、そこに斥力ポテンシャルが付与され、新たなポテンシャルの分布が出来る。この段階で、ドットが打たれた要素画素区画とそれに属する部分要素画素区画が記憶され、それぞれ 4階調目のドットが打ち終わるまで新たなドットを打たないように規制して規則性(3)と(4)を実現する。

【0164】以上の段階で、3階調目のドットが打たれていない要素画素区画は 1区画のみとなり、その内部で、斥力ポテンシャルの値が最小となる画素に自動的に3階調目の最後のドットが打たれ、そこに斥力ポテンシャルが付与され、新たなポテンシャルの分布が出来る。この段階で、ドットが打たれた部分要素画素区画が記憶され、4階調目のドットが打ち終わるまでその区画に新たなドットを打たないように規制して規則性(4)を実現する。

【0165】4階調目のドットパターンは以下のようにして作成する。

【0166】3階調目のドットパターンが完成した段階で四つの要素画素区画 14、15、16、17 のそれぞれは、ドットがまだ打たれていない部分要素画素区画の一つだけ持っている。従って、それら四つの部分要素画素区画の内部で 3階調目の斥力ポテンシャルの分布が最小となる画素に4階調目の最初のドットを打つと同時に、その画素に斥力ポテンシャルを付与し、新たなポテンシャルの分布を作る。この段階では、ドットを打った部分要素画素区画を記憶しておき、4階調目のドットパターンが完成するまではそこに新たなドットが打たれないよう規制し、規則性(4)を実現する。

【0167】もし、ドットを打たれた部分要素画素区画が、規則性(1)を満たす要素画素区画の組の一方に属するなら、他方の要素画素区画内でドットを打つ画素も同時に決まり、それに応じた新たなポテンシャルの分布と、新たなドットを打つことが規制される部分要素画素区画が決まる。

【0168】同様の過程を繰り返し、四つの要素画素区画すべてに一個ずつドットを打ち終えることにより 4階調目のドットパターンと斥力ポテンシャルの分布とが決まる。

【0169】4階調目以降のドットパターンの作成法を説明する。 $n$ を正の整数とし、 $4n$ 階調目の単位画素区画内での斥力ポテンシャルの分布を既知として、 $4n+1$ 階調目のドットパターンの作成から始める。

【0170】単位画素区画内で $4n$ 階調目までの斥力ポテンシャルの分布の値が最小となる画素にドットを打つと同時に斥力ポテンシャルを付与し、新たなポテンシャルの分布を作る。さらに、その画素を含む要素画素区画と部分要素画素区画とを記憶し、その要素画素区画には  $4n+1$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打たないように規制し、その部分要素画素区画には  $4(n+1)$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打たないように規制し、規則性(3)と(4)に従う。

【0171】もし、ドットを打たれた要素画素区画が、規則性(1)を満たす要素画素区画の組の一方に属するなら、他方の要素画素区画内でドットを打つ画素も同時に決まり、それに応じた新たなポテンシャルの分布と、規則性(3)と(4)に従うため  $4n+1$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打つことが規制される要素画素区画と、 $4(n+1)$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打つことが規制される部分要素画素区画とが決まる。

【0172】上記の新たなポテンシャルの分布の下で、ドットを打つことが許される要素画素区画と部分要素画素区画の内部で、ポテンシャルの値が最小となる画素にドットを打つと同時に斥力ポテンシャルを付与し、新たなポテンシャルの分布を作る。さらに、その画素を含む要素画素区画と部分要素画素区画とを記憶し、その要素画素区画には  $4n+1$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打つことを規制し、その部分要素画素区画には  $4(n+1)$ 階調目のドットパターンが完成するまで新たなドットを打たないように規制し、規則性(3)と(4)に従う。

【0173】同様の過程を繰り返し、四つの要素画素区画すべてに一個ずつ新たなドットを打ち終えることにより  $4n+1$ 階調目のドットパターンと斥力ポテンシャルの分布とが決まる。

【0174】以上、 $4n$ 階調目のドットパターンから  $4n+1$ 階調目のドットパターンを完成するまでと同様の過程により、 $4n+2$ 階調目、 $4n+3$ 階調目および  $4(n+1)$ 階調目

のドットパターンと斥力ポテンシャルの分布とが決まる。

【0175】このようにして 255階調目までの全階調のドットパターンが決まるので、図5のステップS7に移りましてマスクの全閾値を決めることが出来る。

【0176】本方法では、ドットパターンは1階調目から順に作られ、従って、下の階調でドットが打ってある画素には、より上の階調でもその画素には必ずドットが存在した。各階調でのドットパターンを作成するこの過程では、一様階調の入力画像の階調数を  $n$  ( $n_{\max}=256$ )、閾値マトリックスの各要素の値を  $m$  ( $m$ は正の整数で、 $m_{\max}=255$ ) として、上記各階調でドットを打った画素に対応する閾値マトリックス上の要素の値を 1 から一つずつ上げてゆき、

$$m = n \quad (4)$$

を満たした時にドットを打ったことになる。このようにして各要素の値を決めてゆけば全閾値が決まりマスクが完成する。

【0177】一般の入力画像では、このマスクを用いて画素の階調数と対応する閾値とが

$$m \leq n \quad (5)$$

を満たすときにドットを打つことにすれば良い。

【0178】このように、本実施の形態の方法では、斥力ポテンシャルと規則性の (1)、(2)、(3)および(4)とを適用して各階調毎にドットパターンの最適化が計られるので、1階調目から 255階調目まで、すべての階調において一様性の極めて良いドットパターンが得られる。実際、後に示す全実施の形態において確かめた(不図示)ことであるが、階調数が大きくなるに連れて打たれたドットの数が多くなると、一次元のスペクトルにおいてノイズ成分の高周波数領域に高いピークを持った孤立スペクトルが現れるようになる。最適化により一定のドット間距離を持つドットの粗を形成するドットの数、そうでないドットの数に比べ相対的に多くなるからである。

【0179】本方法のこのような特徴は、中央の 128階調目で最適化するため、階調数が下がれば下がる程、また上がれば上がる程、ドット分布の一様性が悪くなる青色ノイズマスク法とは際立った違いを示す。

【0180】以上、図5と図8について説明したマスクの作成法を基本とするが、規則性の(1)から(4)を保ったまま、マスクの作成法を種々変更することは可能である。

【0181】例えば、上に示した方法では、 $n$ 階調目のドットパターンから  $n+1$ 階調目のドットパターンを作成する際、斥力ポテンシャルの分布に基づき新たなドットを打つ画素を決めると同時にその画素に斥力ポテンシャルを付与し、かつ、ポテンシャルの分布を更新するという手続きを踏んだ。

【0182】この手続きを簡略化し、 $n$ 階調目のドットパターンから  $n+1$ 階調目のドットパターンを作成する

際、 $n$ 階調目の斥力ポテンシャルの分布に基づき、四つの要素画素区画それぞれの内部においてポテンシャルの分布が最小値を示す画素に新たなドットを打つことにより、一度に  $n+1$ 階調目のドットパターンと斥力ポテンシャルの分布とを作成するようにしても良い。この方法では、高階調になる程、本来の方法とのドットパターンの違いは少なくなり、ドットパターンの一次元空間周波数特性や非等方に基本的な変化はない。

【0183】規則性の(2)のみを若干変更することも可能である。図9においては、規則性の(2)に従い、1階調目のドットパターンを、分散ドットディザ法の 1階調目のドットパターンと同じにした。このドットパターンに弱い不規則性(振動)を加えて1階調目を擬似周期的なドットパターンとすることが出来る。そのようなドットパターンの一例を図10に示す。

【0184】図10において、単位マスクは $32 \times 32$ の大きさを持ち、画素空間では、 $16 \times 16$ 画素の大きさの四つの要素画素区画 14、15、16、17 からなる  $32 \times 32$ 画素の大きさの単位画素区画18に対応しているとする。ここで、要素画素区画14と17は、規則性(1)に従い全階調で全く同じドットパターンを持つ要素画素区画の組とする。

【0185】1階調目のドットパターンを作るために、まず各要素画素区画の中の右上の部分要素画素区画の中央に  $4 \times 4$ の小画素区画 39、40、41、42を設定する。次に、各小画素区画の 16画素の中からランダムに 1画素を選び出し、そこに 1階調目のドットを打つことにして 1階調目のドットパターンを作成する。ただし、小画素区画 39と 40 の中でドットが打たれる画素の位置は同じである。この方法においても、小画素区画の大きさにより、不規則性の程度を制御できる。

【0186】この方法では 1階調目以降のドットパターンの作成の仕方に大きく分けて二つある。

【0187】一つは、図11に示したように、図5に示したフローのステップ S4 に従い、第2階調目でも擬似周期性パターンを加え、3階調目以降はステップS5以下のフローに従う方法である。他の一つは、図12のように、第 2階調目以降からS5以下のフローに従う方法である。いずれの方法でも図5に示した方法に比べ、低階調において非等性が若干減るということはあるにしろ、ドットパターンの一次元空間周波数特性や非等性が基本的に変化するということはない。

【0188】また、プリンタの精細度が1200dpi と一層高い場合には、分散ドットディザ法におけるドット分布の一様性の良さを生かす意味で、上記変更とは逆に、振動を導入する階調をより上の、例えば、5階調目にするという変更も可能である。

【0189】以上詳しく説明した通り、既存のディザ法の持つ課題を、弱い不規則性(振動)を導入すると言う手段を別にすれば、分散ドットディザ法の持つ基本的な四



つの規則性をそのまま用いるという手段で解決したため、それらの規則性が分散ドットディザ法で機能したように、高い非等方性をもたらすという作用と同時に、比較的小型のマスクでありながら出力装置の精細度が上がる程視覚的に好ましいドットパターンが生成出来る、という作用をもたらしした。

【0190】出力装置の精細度の大幅な向上が、青色ノイズマスク法にはより大きなマスクを要するようになるという意味で不利な方向に働くことと照らし合わせると、そのような新たな技術環境下において、非等方性に関しては青色ノイズの理論体系(図68)とはまさに正反對の理論体系(図1)に従うマスク法の優位性は明らかである。以下実施の形態を詳細に説明し、その優位性を実証する。

【0191】以下、添付図面に従って、本発明の実施の形態を詳細に説明する。実施の形態は、すべて図5の基本的なフローに従って作成したマスクに関わる。

【0192】図13は、本実施の形態において画像を処理するための基本的システムを示す。

【0193】同図において、100は入力画像101を走査する例えばスキャナ等の画像入力装置である。この装置では、連続階調を持った入力画像101に対し、階調数を例えば256階調にデジタル化したり、非線形処理を施したり、カラー入力画像の場合は色の各成分に対し色処理をするなどの前処理102がなされる。103は階調処理装置であり、本実施の形態で特徴的な各種の周期性、即ち強い非等方性と弱い不規則性(揺動)とを兼ね備えた閾値マトリックス(マスク)105を記憶するメモリ104と、入力画像の各画素の階調数と、対応する閾値とを前記(5)式に基づいて比較し、その結果に応じて出力値として0(ドットを打たない)か1(ドットを打つ)かを決定する比較器106を含む。107は、比較器106からの出力値に基づいて形成した出力画像108を表示や印刷等の形態で出力する装置である。

【0194】また、デジタルカメラを入力装置とするダイレクトプリントシステムでは、図13において、入力画像の持つ輝度情報、色情報などはデジタル情報に変換されてカメラ側のメモリに蓄えられる。従って、前処理102の一部として、プリンタの特性を考慮した非線形処理や色処理などと、階調処理装置103とは、出力装置としてのインクジェットプリンタ107に組み込まれることになる。

【0195】〈第1の実施の形態〉本実施の形態の特徴を持つマスクの一つを作成する手順について図5のフローチャートに従って説明する。

【0196】図14は本実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、および同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す。同図によって、マスクは128×128の大きさの正方マトリックスであることがわかる。また、黒く塗りつぶされた16×16

画素の要素画素区画はすべて全階調で同じドットパターンとなる。従ってそれらに対応する16×16の要素マスクはすべて同じ閾値配列を持っている。

【0197】図15に、図5のステップS2に基づき、出力画面上で単位マスクに対応する128×128画素の単位画素区画が二次元的に配列される様子を示す。出力装置がプリンタである場合、右向きの矢印はインクを吐出するヘッドやレーザービームなどに関する主走査方向を表し、下向きの矢印は紙送り等の副走査方向を示し、矢印に沿った番号は、画面上でマスクが走査される順番を示す。

【0198】本実施の形態における図5のステップS3とS4とを図16により説明する。同図において、16×16の各要素画素区画の(4,4)画素に打ってあるドットが分散ドットディザ法の1階調目と同一のドットパターンである。

【0199】グレーに塗りつぶされた要素画素区画はすべて同じドットパターンを形成するが、これら各要素画素区画の(12,12)画素に打ってあるドットは2階調目のドットであり、これらも分散ドットディザ法の2階調目のドットの位置に一致する。それ以外の要素画素区画内には7×7の小画素区画が設けてあり、この49画素の中からランダムに1画素を選択し2階調目のドットとした。従って、2階調目に打たれたドットは、分散ドットディザ法の1階調目のドットパターンと同一周期を持つ擬似周期性パターンとなる。

【0200】3階調目以降については、すでに詳しく説明したように、図5のステップS5に従い(2)、(3)式及び図8で示された斥力ポテンシャルを用いてドットパターンを形成した。ただし、70階調目までは階調毎にポテンシャルを変化させたが、71階調目以降は、70階調目で用いたポテンシャルに固定した。

【0201】このようにして作成したマスクを用いて、一様な濃度を持った入力画像について600dpiのBJプリンタにより256×256画素の画面サイズにドットパターンを出力した。8階調目のドットパターンを図17に、32階調目のドットパターンを図18に示す。これらの図は、600dpiのBJプリンタにより得られた上記実画面を縦横10倍の大きさに拡大して出力した。単位マスクに対応する単位画素区画はこれら画面のちょうど1/4の大きさであり、図17、18に示されたドットの分布から、単位マスク自体の持つ周期性を読み取ることが出来る。

【0202】図19、20に、本実施の形態による単位マスク一枚によって生成した32階調目における128×128画素の大きさのドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図19は半径方向の一次元周波数特性を示すが、ノイズ成分の上に鋭いピークを持った孤立的スペクトルが多数乗っている。

【0203】図20は非等方性を示す。平均値は3dB強

を示し、極大値は、それを越えると特に非等方的であるとされる4dBを大幅に越え、中には極めて非等方的なレベルである10dB近傍か、それを越えるスペクトルが存在する。両方の値共、誤差拡散法においても非青色ノイズ特性と判定できるレベルにある。従って、このマスク1枚分のドットパターンが非青色ノイズ特性を持つことは明らかである。高い非等方性を示す周波数と一次元周波数特性における孤立したスペクトルの周波数とが一致する場合はそのスペクトルがマスク自体の周期性に起因するスペクトルであることを示す。

【0204】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態の単位マスクは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。

【0205】図21、22に、本実施の形態による128×128の大きさの単位マスクによって、スペクトルを評価する際の基準となる256×256画素の画面サイズに生成した32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。

【0206】図21は半径方向の一次元周波数特性を示すが、実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。単位マスク一枚分のみの場合に比べノイズ成分が減少し、高く鋭いピークを持った孤立したスペクトルの本数が増大し、青色ノイズマスクのスペクトルと際立った違いが見られる。

【0207】図22は非等方性を示す。実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合には、平均値自体10dB程度の極めて強い非等方性を示し、平均値が0dBと等方的な青色ノイズマスク法との違いは明白である。

【0208】図77に示したように、128×128の大きさの青色ノイズマスクの場合、256×256画素の画面サイズに生成したドットパターンに関する非等方性は、平均値自体が8dB程度となり青色ノイズ特性を示さなかった。その場合、図72のグレースケール上には128×128画素の大きさのムラが周期的に並ぶ様子が虚像として感知され、実用的ではなかった。ところが本実施の形態では、それよりなお強い非等方性を示すにも拘らず、そのようなムラは感知されなかった。

【0209】また、例えば人体の表面のように、低い階調で陰影がなだらかに変化する入力画像を本実施の形態のマスクと256×256の大きさの青色ノイズマスクとを用いて処理した出力画像を比較すると、なだらかな陰影の再現性は若干本実施の形態のマスクを用いた場合の方が上回った。このような本実施の形態の場合のドット分布に関する一様性の良さは数値的にも裏づけられる。16×16画素の大きさの画素区画を画面上で走査し、その区画に含まれるドットの数のバラツキを調べたところ、規則性の(2)や(3)に従う本実施の形態の方が大部分の階調で

少ない値を示した。

【0210】しかも、このように視覚的に好ましいドットパターンを発生するマスクの大きさは、この精細度のプリンタで最適な大きさを持つ青色ノイズマスクの大きさの1/4で済むことになる。さらに、図14で黒く塗られた16個の要素画素区画に対応する要素マスクは皆同じ閾値配列を持っているので、1個の要素マスクを記憶するだけで済み、マスク用の実質的な記憶容量は1/5となる。

【0211】以上の評価結果は、本実施の形態のマスクが、図68に示した青色ノイズ特性に関する理論体系(scheme)にではなく、図1に示した新たな理論体系に基づいていることを示している。即ち、始めから小型のマスクが繰り返し周期的に使用されることを前提に、言い換えるなら、空間周波数特性が強い非等方性を示す前提の下で、図68の理論体系とは逆に、マスク自体を小型にし、かつ(1)から(4)に示した各種の規則性や周期性、即ち強い非等方性、を付与することによっても周期的な虚像のない視覚的に好ましいドットパターンが得られることが示された。

【0212】〈第2の実施の形態〉本実施の形態の特徴を持つ他のマスクの一つを作成する手順について図5のフローチャートに従って説明する。

【0213】図23は本実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、および同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す。このマスクの第1の実施の形態のマスクとの違いは、黒く塗りつぶされた16個の要素画素区画に加え、薄いグレーで塗りつぶされた16個の要素画素区画も全く同じドット配列を持つ要素画素区画とし実質的なマスクの記憶容量をさらに減らすとともに、非等方性をさらに強めたことである。

【0214】図24に、図5のステップS2において決められた、出力画面上での単位マスクに対応する128×128画素の単位画素区画の二次元的な配列の様子を示す。画面右側に示された矢印と番号の持つ意味は図15の場合と同様である。

【0215】本実施の形態における図5のステップS3とS4とを図25により説明する。同図は、本実施の形態におけるマスク1枚分に相当する単位画素区画内の2階調目のドットパターンの一部を示し、濃いグレーで塗りつぶされた要素画素区画の組と薄いグレーで塗りつぶされた要素画素区画の組とはそれぞれが全階調において全く同じドットパターンを持つ。また、16×16の各要素画素区画の(4,4)画素に打ってあるドットが1階調目のドットパターンであり、分散ドットディザ法の1階調目のドットパターンに一致する。

【0216】同じドットパターンを持つ要素画素区画の組のそれぞれの要素画素区画の(12,12)画素に打ってあるドットは2階調目のドットであり、これらも分散ドットディザ法の2階調目のドットの位置に一致する。それ

ら以外の要素画素区画内には7×7の小画素区画が設けられており、この49画素の中からランダムに1画素を選択し2階調目のドットとした。

【0217】3階調目以降については、使用した斥力ポテンシャルを含め、第2の実施の形態と全く同様の図5のステップS5に従いドットパターンを形成し、それらに基づきマスクを作成した。

【0218】このようにして作成したマスクを用いて、一様な濃度を持った入力画像について600dpiのBJプリンタにより256×256画素の画面サイズにドットパターンを出力した。8階調目のドットパターンを図26に、32階調目のドットパターンを図27に示す。これらの図は、600dpiのBJプリンタにより得られた実画面を縦横10倍の大きさに拡大して出力した。単位マスクに対応する単位画素区画はこれら画面のちょうど1/4の大きさであり、図26、27に示されたドットの分布から、単位マスク自体の持つ周期性を明確に読み取ることが出来る。

【0219】図28、29に、本実施の形態による単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターン(128×128画素)に関する空間周波数特性を示す。図28は半径方向の一次元周波数特性を示すが、ノイズ成分の上に鋭いピークを持った孤立的スペクトルが何本も乗っている。第1の実施の形態の場合(図19)と比較すると、ノイズ成分に対し、孤立スペクトルのピークの高さが相対的に高くなっている。同じドットパターンを持つ要素画素区画の粗を倍に増やし周期性を強めたからである。

【0220】図29は非等方性を示す。非等方性の平均値自体が、特に非等方的とされる4dBを越え、7dB弱あり、極大値は極めて非等方的とされるレベルの10dBを越え、最大14dBに達する。両方の値共、誤差拡散法で非青色ノイズ特性と判定されるレベルより高く、このドットパターンは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。

【0221】高い非等方性を示す周波数と一次元周波数特性における孤立的スペクトルの周波数とが一致する場合は、マスク自体の周期性に起因するスペクトルを示す。

【0222】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態の単位マスクは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。

【0223】図30、31に、本実施の形態による単位マスクによって、スペクトルを評価する際の標準となる256×256画素の画面サイズに生成した32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図30は半径方向の一次元周波数特性を示し、実線が本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。単位マスク一枚分のみの場合に比べノイズ成分が大幅に減少し、高く鋭いピークを持った多

数の孤立的スペクトルによって構成されている。

【0224】図31は非等方性を示す。実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合には、平均値自体が13dB程度の極めて強い非等方性を示し、15dBを越える極大値を示すスペクトルが数多く存在し、中には20dB近傍を示すスペクトルが存在する。

【0225】以上のように分散ドットディザ法と同程度の極めて強い非等方性を示すにも拘らず、本実施の形態では128×128の大きさの青色ノイズマスクに関し図72のグレースケールに示したような同一パターンの繰り返しによる周期的な虚像は感知されなかった(本実施の形態のマスクによるグレースケールを図66に示した)。

【0226】また、低い階調で陰影がなだらかに変化する入力画像を本実施の形態のマスクと256×256の大きさの青色ノイズマスクとを用いて処理した出力画像を比較した場合においても、なだらかな陰影の再現性は本実施の形態のマスクを用いた場合の方が若干上回った。このようなドット分布に関する一様性の良さは本実施の形態の場合においても数値的に裏づけられた。

【0227】以上のように視覚的に好ましいドットパターンを生成するマスクの大きさは、対応する青色ノイズマスクの大きさの1/4で済むことになる。しかも、16個の同じドットパターンを持つ要素画素区画の二組は、全く同じ閾値配列を持つので、独立した閾値配列を持った要素マスクの数は、34個となり、実質的には、 $34/256=0.13$ となり、約1/8である。即ち、記憶装置からの読み出し方を工夫することにより、本実施の形態のマスクを記憶するための記憶容量は256×256の大きさの青色ノイズマスクの場合の約1/8で済ませることが出来る。

【0228】以上の評価結果は、本実施の形態のマスクも、図68に示した青色ノイズ特性に関する理論体系(scheme)にではなく、図1に示した新たな理論体系に基づいていることを示すものである。

【0229】〈第3の実施の形態〉本実施の形態の特徴を持つ他のマスクの一つを作成する手順について図5のフローチャートに従って説明する。

【0230】図32は本実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、および同じドット配列を持つ要素画素区画の粗を示す。黒く塗りつぶされた4個の要素画素区画の粗と、薄いグレーで塗りつぶされた4個の要素画素区画の粗とは、それぞれ全階調において全く同じドット配列を持つ。

【0231】図33に、図5のステップS2に基づき、出力画面上で単位マスクに対応する64×64画素の単位画素区画が二次元的に配列される様子を示す。同図から明らかなように、単位画素区画の縦方向の配列は、それをy方向に単純に並べただけであるが、横方向(x方向)には、単純に並べるのではなく、隣の単位画素区画を縦方

向に 32画素分ずらして配列する。このように配列する意図は、同じ小規模パターンが単純に縦横整然と並ぶことによって、周期構造が目感知し易くなるのを避けることと、同様の理由により紙送りのムラが原因で入る横方向の筋ムラを軽減するためである。このように、横方向の筋ムラを軽減するには、隣り合った縦方向の単位画素区画の配列同士を、例えば、y軸の正方向に 16画素分ずらすようにするとより効果的である。

【0232】一方、縦方向の筋ムラを軽減するには、隣り合った横方向の単位画素区画の配列同士を、x軸の正方向に 16画素分ずらすようにするとよい。

【0233】なお、本実施の形態では、便宜上図33に太い点線で示した 64×128画素の長方形の画素区画に対応するマスクを用いた。ドットパターンを生成する際にそのマスクを繰り返し走査しつつ使用する順序は、同図の右側に示した。

【0234】本実施の形態における図5のステップS3とS4とを図34により説明する。簡単のため、単位マスクサイズを32×32として説明する。従って、単位画素区画の大きさも図34に示すように 32×32画素とする。さらにここでは、横隣の単位画素区画とは y方向に

$$W = e^{-\frac{r^2 - r'^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{ただし } \sigma^2 = 4)$$

(6)

【0238】以上の方法で図32に示した単位画素区画の2階調目までのドットパターンを作成した結果を図36に示した。このように、2階調目のドット位置に不規則性を導入する際、7×7=49画素の小画素区画を設けドットの位置を規制した上にさらに重み付けをして規制する理由は、マスクの規模が小さくなると、不規則性を導入するドットの数が減り、小画素区画による規制のみではそれらランダムに選択されたドットの位置に偏りが生じ、小規模ドットパターンの繰り返しによる周期性が感知され易くなるからである。実際、マスクの規模が大きい第2の実施の形態では、不規則性を導入する2階調目のドット数が32個もあり、小画素区画による規制のみで済んだが、本実施の形態では8個しかなく、小画素区画による規制のみでは、それらドットの位置の偏りが少なくなるように制御するのは困難であった。

【0239】本実施の形態における3階調目のドットパターンを形成する方法について図34に戻って説明する。これまでの実施の形態のように単位画素区画が出力画面上縦横に整然と配列される場合と異なり、隣り同士の単位画素区画間に境界に沿った位置ズレが生じる場合があるので、その境界における斥力ポテンシャルの処理の仕方を変えなければならない。

【0240】図34において、ドットパターンを形成する単位画素区画43の1階調目のドット44を例に、そのドットに付与された斥力ポテンシャルの処理の仕方を説明する。

【0241】その斥力ポテンシャルが単位画素区画43

16画素分ずれているとする。濃いグレーで塗りつぶされた一組の要素画素区画は全階調において全く同じドットパターンを持つ。

【0235】16×16の各要素画素区画の(4, 4)画素に打ってあるドットが1階調目のドットパターンであり、分散ドットディザ法の1階調目のドットパターンに一致する。同じドットパターンを持つ要素画素区画の組のそれぞれの要素画素区画の(12, 12)画素に打ってあるドットは2階調目のドットであり、これらも分散ドットディザ法の2階調目のドットの位置に一致する。それら以外の要素画素区画内には7×7=49画素の小画素区画が設けてあり、この49画素の中からランダムに1画素を選択し2階調目のドットとする。ただし、49画素すべてが同じ確率で選択されるわけではなく、中心の画素の位置を原点として、図35に示すようなガウス型の重み付けを行ない、中心に近い画素ほど選択され易くしている。

【0236】ここで用いたガウス型関数は次式で与えられる。

【0237】

【外4】

の内部に及ぶ範囲を実線45で示した。単位画素区画43の上側の境界から外部にはみ出し、破線46で表したポテンシャルの部分については、その境界に沿った単位画素区画のズレはないのでそのままの形で下側の境界の内部に平行移動する。ポテンシャルのこの部分は、単位画素区画43の下隣の単位画素区画43、単位画素区画43の1階調目のドット43に対応する同じく1階調目のドット49に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画43の内部に及ぼすポテンシャル50に等しい。

【0242】単位画素区画43の左側斜め上に16画素分ズレた単位画素区画にはみ出し、一点鎖線で表したポテンシャルの部分47については、右側斜め下に16画素分ズレた単位画素区画43の1階調目のドット44に対応する同じく1階調目のドット51に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画43の内部に及ぼすポテンシャル52として移行させる。

【0243】単位画素区画43の左側斜め下に16画素分ズレた単位画素区画にはみ出し、一点鎖線で表したポテンシャルの部分47については、右側斜め上に16画素分ズレた単位画素区画43の1階調目のドット45に対応する同じく1階調目のドット53に付与した斥力ポテンシャルが、単位画素区画43の内部に及ぼすポテンシャル54として移行しドット44に付与された斥力ポテンシャルの処理が完了する。

【0244】単位画素区画43の内部に打たれた他のドットすべてに同様の方法で斥力ポテンシャルを付与し、単位画素区画43の内部で斥力ポテンシャルが最小とな

る画素55に3階調目の最初のドットを打つ。新たに打たれたドットに付与された斥力ポテンシャルを重ねるようにして、残された三つの要素画素区画に一個ずつ新たなドットを打つことにより3階調目のドットパターンが完成する。

【0245】以上、本実施の形態における斥力ポテンシャルの単位画素区画の境界における処理の仕方を分かりやすく説明するために、図34では小規模な単位画素区画と斥力ポテンシャルを用いたが、そのような処理の仕方を、図36の単位画素区画と図8で示した斥力ポテンシャルとに適用し、本実施の形態の3階調目のドットパターンが作成出来る。

【0246】従って、3階調目以降については、境界における斥力ポテンシャルの処理の仕方は変化したものの、第2の実施の形態について詳しく説明した図5のステップ55に従ってドットパターンを形成し、それらに基づきマスクを作成した。

【0247】このようにして作成したマスクを用いて、一様な濃度を持った入力画像について600dpiのBJプリンタにより256×256画素の画面サイズにドットパターンを出力した、8階調目のドットパターンを図37に、32階調目のドットパターンを図38に示す。これらの図は、600dpiのBJプリンタにより得られた実画面を縦横10倍の大きさに拡大して出力した、64×64の単位マスクに対応する単位画素区画はこれら画面の1/16の大きさであり、図26、27に示されたドットの分布から、単位マスク自体の持つ周期性を明確に読み取ることが出来る。

【0248】図39、40に、本実施の形態による単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターン(64×64画素)に関する空間周波数特性を示す。図39は半径方向の一次元周波数特性を示すが、ノイズ成分の上にピークを持った孤立的スペクトルが何本も乗っていることがわかる。

【0249】図40は非等方性を示す。平均値は3dB強の値を示し、マスク法では特に非等方的とされるレベルの4dBを超える極大値を示すスペクトルが数多く存在する。また、6dB程度の極大値を持つスペクトルも存在するので、このドットパターンが非青色ノイズ特性を持つことは明らかである。一次元周波数特性におけるピークと非等方性におけるピークの周波数が一致する場合、例えば0.24/sや0.41/s等はマスク自体の周期性に起因するスペクトルである。

【0250】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態の単位マスクは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。図41、42に、スペクトルを評価する際の基準となる256×256画素の画面サイズに生成した本実施の形態の単位マスクによる32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図41は半径方向の一

次元周波数特性を示し、実線が本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。ノイズ成分が極めて少なく、殆ど高く鋭いピークを持った孤立的スペクトルによって構成されていると言っても過言ではない。

【0251】図42は非等方性を示す。実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合には、平均値自体が16dB程度と極めて強い非等方性を示し、極大値が20dBを超えるスペクトルも存在する。他の階調でも同様の非等方性を示すので、これまでの実施の形態の中では最も非等方的である。

【0252】以上のように分散ドットディザ法と同様の、極めて強い非等方性を示すにも拘らず、本実施の形態では64×64の大きさの青色アイズマスクを用いた際に現れる図73に示されたような同パターン様の繰り返しによる周期的な虚像は感知されなかった。

【0253】また、低い階調で陰影がなだらかに変化する入力画像を本実施の形態のマスクと256×256の大きさの青色ノイズマスクとを用いて処理した出力画像を比較した場合においても、なだらかな陰影の再現性は本実施の形態のマスクを用いた場合の方が若干上回った。このようなドット分布に関する一様性の良さは本実施の形態の場合においても数値的に裏づけられた。

【0254】以上のように視覚的に好ましいドットパターンを生成するマスクは、本実施の形態では図33に示したように64×128の大きさであったが、記憶装置からの読み出し方を工夫することにより、64×64の大きさの単位マスクを用いることが出来る。

【0255】この大きさは256×256の青色ノイズマスクの大きさの1/16である。しかも、4個の同じドットパターンを持つ要素画素区画の二組は全く同じ閾値配列を持つので、独立した閾値配列を持った要素マスクの数は10個となり、実質的には $10/256 = 0.039$ 、即ち約1/25となる。即ち、記憶装置からの読み出し方を工夫することにより、本実施の形態の単位マスクを記憶するための記憶容量は256×256の大きさの青色ノイズマスクの場合の1/25で済ませることが出来る。

【0256】以上の評価結果は、本実施の形態のマスクも、図68に示した青色ノイズ特性に関する理論体系(scheme)にではなく、図1に示した新たな理論体系に基づいていることを示している。

【0257】〈第4の実施の形態〉本実施の形態の特徴を持つ別のマスクの一つを作成する手順について説明する。

【0258】図43は本実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、および同じドット配列を持つ要素画素区画を示す。本実施の形態では、図から明らかなように、マスクの外形を十字型にしたため、集団ドットディザ法に関する公知例(USP 4,75

3.822)から引用した図83、84に示されたと同様、プリンタの主走査方向とマスクの配列方向とに傾きを与えることが出来る。即ち、第3の実施の形態では、マスクの配列を出力画像面のx方向かy方向かどちらか一方にしかずらせられなかったが、本実施の形態では、二次元的にずらすことが出来るので、主走査方向と副走査方向のムラの両方に同時に対処出来る。

【0259】図43において、濃いグレーで塗りつぶされた5個の要素画素区画の粗と、薄いグレーで塗りつぶされた5個の要素画素区画の粗とは、それぞれ全階調において全く同じドット配列を持つ。従って要素画素区画は全部で20個あるが、独立した要素マスクは12個となるので、単位マスクを記憶するための実質的な記憶容量は $256 \times 256$ の大きさの青色ノイズマスクの場合の約 $1/20$ で済ませられる。

【0260】本実施の形態において実際に作成した単位マスクの外形を図44に示す。 $2 \times 2=4$ 個の要素画素区画を1ブロックとしたとき、この単位画素区画はAからDまでの5ブロックあり、それぞれのブロックは図43に示されたAからDまでの5ブロックに対応する。従って、マスクを二次元的に配列して得られるドットパターンは図43に示したマスクによるものと全く同じに出来るが、マスクの外形を形作る辺の数が少ない分マスク作成の際の境界における斥力ポテンシャルの処理が簡単になる。

【0261】図45に単位マスクの配列の仕方に対応する単位画素区画の配列の様子を示す。同図から容易にわかるように、太い点線57で示した $160 \times 160$ の正方形のマスクとして用いることも出来る。

【0262】本実施の形態における図5のステップS3とS4とを、図46により説明する。第1階調目は、すべての要素画素区画内の(4, 4)画素にドットを打つ。同じドットパターンを持つ要素画素区画の粗は、2階調目を(12, 12)画素に打つ。これらのドットの位置は、分散ドットディザ法の2階調目のドットパターンに一致する。個々の独立したドットパターンを持つ要素画素区画における2階調目のドットパターンに不規則性(揺動)を導入する方法は、第3の実施の形態と全く同様とする。即ち、それらの要素画素区画の(12, 12)画素を中心とする $7 \times 7$ の小区画を設け、そこに含まれる各画素に図35に示したガウス型の重み付けをした後ランダムに1画素を選択する。このようにして単位画素区画に関する第2階調目のドットパターンを図46のように決めることが出来る。

【0263】本実施の形態の場合も、単位画素区画の二次元的な配列の仕方が単純ではないので、境界外に及ぶ斥力ポテンシャルの処理の仕方が煩雑になる。しかし、そのような場合の基本的な処理法は第3の実施の形態で詳しく説明したので、それに倣えば良い。

【0264】従って第3階調目以降のドットパターンの

形成の仕方は、第3の実施の形態と同様にして図5のステップS5以下に従って作成出来、ディザマトリックスが完成する。

【0265】このようにして作成したマスクを用いて、一様な濃度を持った入力画像について600dpiのBJプリンタにより $256 \times 256$ 画素の画面サイズにドットパターンを出力した。8階調目のドットパターンを図47に、32階調目のドットパターンを図48に示す。これらの図は、600dpiのBJプリンタにより得られた上記の大きさの実画面を縦横10倍に拡大して出力した。図47、48に示されたドットの分布から、単位マスク自体の持つ周期性を読み取ることが出来る。

【0266】図49、50に、本実施の形態に関わる単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図49は半径方向の一次元周波数特性を示す。空間周波数特性は、通常、高速フーリエ変換(FFT)のアルゴリズムを用いて評価するので画素区画が $n$ を整数として $2n \times 2n$ である必要がある。従って、本実施の形態の場合は、 $128 \times 128$ 画素の画面サイズとし、単位画素区画の外部は全画素にドットが打たれているとして評価した。

【0267】比較対象としての青色ノイズマスク法では、マスクの作成に高速フーリエ変換を用いるので本実施の形態のような形状のマスクを設計することは極めて困難である。

【0268】従って、ここでは、便宜的に $128 \times 128$ の青色ノイズマスクで生成したドットパターンから、本実施の形態の単位画素区画の形状に切り取ったドットパターンを用いて比較した。

【0269】図49はそのようにして比較評価した単位マスク一枚分の大きさの32階調目における一次元パワースペクトル、図50は非等方性である。一次元パワースペクトルを見ると、二つの方法共に $0.1/s$ 、あるいは $0.15/s$ よりも低周波数側に極めて高いスペクトルがある。これは正方形と異なる単位画素区画内のドットパターンをそれより大きい $128 \times 128$ 画素の画面で評価したことに起因する。従って、その影響の少ない $0.2/s$ 以上の周波数領域で比較することにする。

【0270】一次元パワースペクトルでは、本実施の形態の方が青色ノイズマスク法に比べ、相対的に高く鋭い孤立スペクトルを有する。 $0.2/s$ 以上の周波数領域で非等方性を見ると、青色ノイズマスク法は平均的には0dBを示すので等方的である。非等方性の強いスペクトルでも3dB弱の値であるので、その値自体は、振動誤差拡散法の最も高い非等方性を示すスペクトルとはほぼ同等である。一方、本実施の形態の場合は平均値が2dB強の値を示し、特に非等方的とされるレベルの4dBを越える極大値を示すスペクトルが数多く存在し、6dBを越えるスペクトルもあるので明らかに非等方的であり、従って非青色ノイズ特性を持つと言える。参考に、単位画素区画自

体の形状の影響を取り除くため、本実施の形態の非等方性の値から青色ノイズマスク法の非等方性の値を差し引くと図51が得られる。青色ノイズマスク法の場合を等方的であるとする、本実施の形態ではさらに非等方性が強く現れる。

【0271】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態の単位マスクは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。本実施の形態のマスクが非青色ノイズ特性を持つことは、別の角度からも裏付けられる。即ち、本実施の形態の単位マスクは第3の実施の形態の単位マスクより大きい分、周期性、従って非等方性が強くなる。第3の実施の形態のマスクは非青色ノイズ特性を示したから、本実施の形態のマスクが非青色ノイズ特性を持つことは当然のこととなる。

【0272】図52、53に、スペクトルを評価する際の基準となる256×256画素の画面サイズに生成した本実施の形態の単位マスクによる32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図52は半径方向の一次元周波数特性を示し、実線が本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合、ノイズ成分が極めて少なく、高く鋭いピークを持った孤立的スペクトルによって構成されている。

【0273】図53は非等方性を示す。実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合には、平均値自体が12dB程度の極めて強い非等方性を示し、20dBを超えるスペクトルも存在する。

【0274】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態のマスクで生成されるドットパターンは明らかに青色ノイズパターンではない。

【0275】以上のように分散ドットディザ法と同様、極めて強い非等方性を示すにも拘らず、本実施の形態の0.8倍とほぼ同等の大きさを持つ64×64の青色ノイズマスクに関し図73のグレースケールで示したような同一パターンの繰り返しによる周期的な虚像は殆ど感知されなかった(本実施の形態のマスクによるグレースケールを図67に示した)。

【0276】また、低い階調で陰影がなだらかに変化する入力画像を本実施の形態のマスクと256×256の大きさの青色ノイズマスクとを用いて処理した出力画像を比較した場合においても、なだらかな陰影の再現性は本実施の形態のマスクを用いた場合の方が若干上回った。このようなドット分布に関する一様性の良さは本実施の形態の場合においても数値的に裏づけられた。

【0277】以上の評価結果は、本実施の形態のマスクも、図68に示した青色ノイズ特性に関する理論体系(scheme)にではなく、図1に示した新たな理論体系に基づ

いていることを示している。

【0278】〈第5の実施の形態〉本実施の形態の特徴を持つさらに別のマスクの一つを作成する手順について説明する。

【0279】図54は本実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、および同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す。本実施の形態でも、マスクの外形を第4の実施の形態と同様十字型にしたため、主走査方向と副走査方向のムラの両方に同時に対処出来る。

【0280】図54において、個々の要素画素区画が、☆や◆などのパターンで区別されているが、同じパターンを持つ要素画素区画の組は、全階調において全く同じドットパターンを持つ。この例では、要素画素区画は全部で20個あるが、同一パターンを有する要素画素区画の組が8組あるので、独立した要素マスクは10個となりこれまでに示した実施の形態の中では、第3の実施の形態と並んで独立した要素マスクの数が最も少ない。従って、単位マスクを記憶するための記憶容量は256×256の大きさの青色ノイズマスクの場合の1/25で済ませられる。

【0281】図55は、本実施の形態において実際に作成したマスクの外形を示し、この点に関しても第4の実施の形態と全く同じである。同図では、全く同じ閾値配列を持つ要素マスクの組の配置を破線の矢印で示したが、矢印58で示した一組を除き、それらの配置が一定の周期性に従っていることが分かる。

【0282】図56に単位マスクの配列の仕方に対応する単位画素区画の配列の様子を示し、この場合も第4の実施の形態と全く同じであり、太い点線59で示した160×160の正方形のマスクにして用いることも出来る。

【0283】本実施の形態が第4の実施の形態と異なる点は、第2階調目におけるドットパターンの決め方にある。

【0284】一般に、マスクの大きさが小さくなりドットパターンにムラがあると、単位画素区画の配列方向に周期的な虚像が現れる。本実施の形態の配列方向をベクトル $p$ と $q$ で表すと、 $p$ と $q$ に平行な方向に最も縞模様が見え易くなる。ここで $p$ と $q$ は、単位画素区画が、隣接する単位画素区画に向けて平行移動して重なり合うための方向と距離とを表し、それらのベクトルは互いに直交している。

【0285】また、画素が $x$ 軸及び $y$ 軸と平行な格子点上にしか位置し得ず、1階調目が、まさに格子点上に並んでいるので、これら二つの方向にも、 $p$ と $q$ の方向に次いで、縞模様が現れる可能性が高い。

【0286】本実施の形態において、これらの縞模様が現れにくくするための2階調目のドットパターンの決め方について図57、58を用いて説明する。

【0287】図57は、2階調目までのドットが打たれ

ている単位画素区画である。各要素画素区画の(4, 4)画素は1階調目のドットであり、(12, 12)画素を中心とする7×7の小区画内にはすでに2階調目のドットが打たれている。これら2階調目のドットは、小区画が持つ7×7=49画素の中からランダムに決められた訳ではなく、予め定められた4画素の一つから一定の規則に従って選択されている。その選択のための規則性をベクトルpに平行な直線上に位置する二つの小区画60、61と、ベクトルqに平行な直線上に位置する二つの小区画60、62とを例にとり、図58を用いて説明する。

【0288】図57において、小区画60と61とをpの方向から見て、また小区画60と62とをqの方向から見てみたとき、どちらの方向から見てもそれぞれの小画素区画の中心から等距離になる画素の位置はpとqのなす角度を二等分する方向にある。

【0289】また、それぞれの小画素区画をx軸とy軸の方向から見た時、同じくどちらの方向から見てもそれぞれの小画素区画の中心から等距離になる画素の位置はx軸とy軸のなす角度を二等分する方向にある。

【0290】以上の考察結果を図示すると図58が得られる。同図において、小画素区画66の中心を原点としxy座標系を設定し、二つのベクトルも記入する。第1象限において二つの座標軸のなす角度を2等分する線と二つのベクトルがなす角度を2等分する線とを一点鎖線で記入した。他の象限も同様である。小区画の中から画素は一個しか選べないので、それぞれの象限で二本の2等分線に挟まれた領域の中から選ぶようにすれば良い。そうすると、それぞれの象限において選ばれるべき画素が例えば4個、67、68、69、70として決まる。

【0291】従って、図57で、小区画60の中から2階調目のドットを打つ画素を、図58の画素67に相当する画素に決め、その位置をベクトルaで表した時、小区画61と62の中からはドット分布の偏りを避けるため-aに位置する画素がそれぞれ選択される。

【0292】ブロックAの中の他の三つの小区画63、64、65については、同じく二方向から見た時のドットの偏りを避けるため、図58の残りの象限に位置する画素68、69、70に相当する画素がそれぞれ選択され、それに応じ他のブロックにおいてそれぞれ二つずつの小区画で選択される画素が決まる。他の小区画においても同様の決め方により図58の4画素の一つに相当する画素を選択し、そのような決め方が出来ない場合も、二方向から見た時のドットの偏りを避けるように図58の4画素の一つに相当する画素を選択し、全要素画素区画に第2階調目のドットをすべて打ち終えた段階が図57に示されている。

【0293】本実施の形態の場合、図5に示したアルゴリズム上の順序とは逆であるが、第2階調目に打つドットの位置を決めた後に図55に示された同じドットパターンを持つ要素画素区画の組を決める。例えば、A

ブロックの1番目の要素画素区画とBブロックの4番目の要素画素区画を一組とし、Eブロックの3番目の要素画素区画とCブロックの2番目の要素画素区画を一組とするというようにしてそれぞれの組を決めて行き図55に示された組み合わせを決める。

【0294】第3階調目以降のドットパターンの形成の仕方は、第3の実施の形態、あるいは第4の実施の形態と同様にして図5のステップS5以下に従って作成出来、ディザマトリックスが完成する。

【0295】このようにして作成したマスクを用いて、一様な濃度を持った入力画像について600dpiのBJプリンタにより256×256画素の画面サイズにドットパターンを出力した。8階調目のドットパターンを図59に、32階調目のドットパターンを図60に示す。これらの図は、600dpiのBJプリンタにより得られた実画面を縦横10倍の大きさに拡大して出力した。第3の実施の形態以下、小規模のマスクを用いた中では、一様性が最も優れていて、また、本実施の形態の狙い通り、x軸、及びy軸方向に平行なドット分布のムラもない。

【0296】図61、62、63に、本実施の形態による単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。マスクの形状が第4の実施の形態と同じであるので、マスク一枚分のドットパターンに関する空間周波数特性は、第4の実施の形態の場合と同様の方法で評価した。

【0297】図61はそのようにして比較評価した32階調目の一次元パワースペクトル、図62は非等方性である。二つの方法共に0.1/s、あるいは0.15/sよりも低周波数側に異形の単位画素区画を正方形の画面で評価したこと起因する高いスペクトルがあるので、その影響の少ない0.2/s以上の周波数領域で比較する。

【0298】一次元パワースペクトルでは、本実施の形態の方が青色ノイズマスク法に比べ、相対的に高い孤立スペクトルを有するが、第4の実施の形態に比べると違いは少ない。0.2/s以上の周波数領域で非等方性を見ると、青色ノイズマスク法は平均的には0dBを示すので等方的であり、非等方性の強いスペクトルでも振動誤差拡散法の最も高い非等方性を示す階調でのスペクトルと同等である。一方、本実施の形態の場合は平均値は1.2dBで、特に非等方的とされるレベルの4dBを越え5dBの極大値を持つスペクトルも1本ある。このように、マスク法における非青色ノイズ特性の条件を満たしているの、このマスク1枚分のドットパターンも非青色ノイズ特性を持つと言える。参考に、単位画素区画が異形であるための影響を取り除くため、本実施の形態の非等方性の値から青色ノイズマスク法の非等方性の値を差し引くと図63が得られた。青色ノイズマスク法の場合を等方的であるとする、本実施の形態でもさらに非等方性が強く現れ、5dBを越えるスペクトルが2本見られる。本実施の形態でも一次元のパワースペクトルと非等方性の



スペクトルで、孤立的スペクトルの周波数が一致する場合が複数認められるが、これらはマスク自体に周期性があることを示す。

【0299】他の階調では、32階調目と同等の非等方性を示す階調と、スペクトルの極大値がそれより若干低い値を示す階調とがほぼ半々であった。本実施の形態の単位マスクは、マスク自体が周期構造を持つことを反映し、比較可能な6階調の内3階調で良好な等方性を示すUlrichneyによる積動誤差拡散法よりも非等方的である。従って平均値が等方的であることを示す青色ノイズマスク法とは基本的に異なる特性を持つ。

【0300】図64、65に、スペクトルを評価する際の基準となる256×256画素の画面サイズに生成した本実施の形態の単位マスクによる32階調目のドットパターンに関する空間周波数特性を示す。図64は半径方向の一次元周波数特性を示し、実線が本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態はノイズ成分が少なく、高く鋭いピークを持った孤立的スペクトルによって構成されている。

【0301】図65は非等方性を示す。実線は本実施の形態、破線は256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いた場合を示す。本実施の形態の場合には、平均値自体が10dB程度の極めて強い非等方性を示す。

【0302】以上のようなスペクトル特性は32階調目に限らず他のすべての階調において見られるので、本実施の形態のマスクで基準画面内に生成されるドットパターンは明らかに非青色ノイズ特性を持つ。

【0303】以上のように極めて強い非等方性を示すにも拘らず、大きさでは本実施の形態のマスクと同等(0.8倍)の64×64の青色ノイズマスクに関し図73のグレースケールで示したような同一パターンの繰り返しによる周期的な虚像は殆ど感知されなかった。

【0304】また、低い階調で陰影がなだらかに変化する入力画像を本実施の形態のマスクと256×256の大きさの青色ノイズマスクとを用いて処理した出力画像を比較した場合においても、なだらかな陰影の再現性は本実施の形態のマスクを用いた場合の方が若干上回った。この結果は、600dpiのプリンタを用いた場合の最適サイズである256×256の大きさの青色ノイズマスクの約1/13(実質的には1/25)の大きさしかない本実施の形態のマスクの中間調再現性能が青色ノイズマスクの性能と同等か若干上回ることを示している。

【0305】以上の評価結果は、本実施の形態のマスクも、図68に示した青色ノイズ特性に関する理論体系(scheme)にではなく、図1に示した新たな理論体系に基づいていることを証明している。

【0306】以上詳しく説明したように、従来の青色ノイズマスク法では、マスクサイズを小さくして、基準サイズで評価すると虚像が発生していたが、本実施の形態

によれば、基準となる大きさの画素区画より小さいサイズのマスクを用いて前記基準となる大きさの画素区画内に生成するドットパターンが、視覚的に好ましくない程のコントラストを有するモアレやマスク自体に起因する一定の繰り返しパターン等の虚像を発生することがないので、小さいサイズのマスクで、一様性に優れた高画質な画像を得ることができる。

【0307】また、マスク単独により生成されるドットパターンが全ての階調で、非青色ノイズ特性としたことで、つまり、規則性を持たせたことで、一様性に優れた高画質な画像を得ることが出来る。

【0308】また、これまでの分散ドットディザ法を持つ規則性を基本にそのドット配列に弱い揺らぎ(振動)を与えることにより、分散ドットディザ法に固有の、(1)モアレが発生し易い、(2)画面に規則的な模様が現れる、(3)紙送りムラが縞状ノイズとして現れ易い、という三つの欠点をすべて取り除き、(i)全ての階調においてドット分布の一様性が高い、(ii)マスクの大きさが小さい、という優れた特徴を生かした階調再現が可能となった。

【0309】これらは、例えば、第2の実施の形態のマスクによる図66に示したグレースケールや、第4の実施の形態のマスクによる図67に示したグレースケールにより実証された。

【0310】両図とも600dpiのプリンタを用いて出力した上段左から右へ30、31、32階調目、中段左から右へ40、41、42階調目、下段左から右へ50、51、52階調目のドットパターンを示す。これらは、同様に256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いて出力した図71のグレースケールと比較しても勝るとも劣らない画質を有している。それにも関わらず、第2の実施の形態のマスクの大きさは128×128で上記青色ノイズマスクの1/4であるが、同じ閾値配列を持つ要素マスクが複数あるので、実質的には約1/8となる。また、第4の実施の形態のマスクは、上記青色ノイズマスクの約1/13であるが、同じ閾値配列を持つ要素マスクが複数あるので、実質的には約1/20で済ませられる。デジタルカメラによるダイレクトプリントシステムにはうってつけの階調再現方法と言える。

【0311】更に本実施の形態の方法は、分散ドットディザ法を持つ規則性の多くを受け継いでいる。従って分散ドットディザ法がそうであるように、プリンタの精細度が上がれば上がる程画質が向上するので、最近の1200dpiクラスのプリンタにそのまま適用しても良好な画質が得られることが保証される。青色ノイズマスクのように、プリンタの精細度が上がると、より大きなマスクを必要とすると言えない。

【0312】さらに本実施の形態の方法は、第1階調目が、周期性パターンかまたは擬似周期性パターンとなり、さらに高階調においても、マスクの内部に周期性を

持っているので、ドットパターンを見れば、それらの周期性から本実施の形態のアルゴリズムを用いていることが直ちに判明する。

【0313】以上のように、図1に示した理論体系に基づく本実施の形態の階調再現法は、(1)画質が良い、(2)マスクが小型、(3)ソフト盗用の防止が可能、(4)高精細プリンタにより好適に用いられる、という特徴を持つので、現在から近い将来にむけての高精細デジタル画像時代に最もふさわしい方法である。ところで、本発明の階調再現装置が、容量の大きな記憶媒体を含む場合には、各実施の形態で用いた小型のマスクに限らず、例えばより大きな256×256の大きさのマスクを用いることができる。

【0314】なお、前述の実施の形態では、入力画像データを二値のデータに変換する場合を説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、三値以上の多値データに変換する場合に適用することができる。

【0315】三値データに変換する場合について説明する。

【0316】出力装置が例えばインクジェットプリンタであるとし、そのプリンタが濃淡二つのインクを持つ場合、表現できる値は三値となる。

【0317】入力データが1画素8ビットの256階調のデータであるとする、128階調目までの入力データはその値を2倍にし、前記実施の形態で作成されたマスクにより、2値化する。この結果1となった場合は淡インクを出力する、入力データが129階調以降256階調目までは、そのまま、前記実施の形態で作成されたマスクにより2値化し、その結果1となった場合は濃インクを出力する。また、別の方法としては、128階調目までは、前記実施の形態で作成したマスクの個々の閾値を $1/2$ （少数の場合は切り捨て）したマスクを別途用意し、淡インク用のマスクとしてもよい。このようにすると、128階調目以下の低い階調は濃インクだけで出力する場合に比べ、打たれるドットの数が2倍になるので、入力画像が低階調で緩やかに変化する部分を滑らかに再現できる。

【0318】従って、人の肌の部分などの階調変化の再現性を高めるためにはこの様な多値化技術は重要であり、その際に本実施の形態で作成されたマスクを応用することにより、画質の一層優れた出力画像を得ることができる。

【0319】また、本発明をカラー画像処理に応用する場合は、色（例えばY/M/C/K）ごとに、前記実施の形態で作成された、マスクを用い、2値又は多値化処理すればよい。

【0320】また、本発明は、例えば、ホストコンピュータ、インタフェイス機器、リーダー、プリンタ等の複数のデバイスによって構成されるシステムにも適用でき、更に、例えば、複写機、ファクシミリ装置等の単体の装

置に適用できる。

【0321】また、本発明は、前述した実施形態の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを記録した記憶媒体を、システムあるいは装置に供給し、そのシステムあるいは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU）が記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出し実行することにも適用できる。

【0322】この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が、上述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムコードを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【0323】プログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フロッピーディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモ리카ード、ROM等を用いることができる。

【0324】また、コンピュータが読み出したプログラムコードを実行することにより、上述した実施形態の機能が実現されるだけでなく、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼働しているOS（オペレーティングシステム）等が実際の処理の一部または全部を行ない、その処理によって、上述した実施形態の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

【0325】さらに、記憶媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータに挿入された機能拡張ボードやコンピュータに接続された機能拡張ユニットに備わるメモリに書込まれた後、そのプログラムコードの指示に基づき、その機能拡張ボードや機能拡張ユニットに備わるCPU等が実際の処理の一部または全部を行ない、その処理によって、上述した実施形態の機能が実現される場合も含まれることは言うまでもない。

【0326】

【発明の効果】以上説明した如く本発明によれば、小型のマスクでドット分布の一様性に優れた高画質な画像を得ることができるとともに、高精細プリンタにおいてもマスクサイズを大きくする必要が無く、マスクを記憶しておくためのメモリ容量を小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施の形態のマスク法が準拠する理論体系を示す図である。

【図2】本実施の形態の方法の規則性(2)と(3)を説明する図である。

【図3】本実施の形態の方法の規則性(4)を説明する図である。

【図4】本実施の形態の方法の規則性(1)と(4)を説明する図である。

【図5】本実施の形態のディザマトリックスを得るまでの各ステップの流れを示すフローチャートである。

【図6】2階調目のドットパターンに摂動を加える方法を説明する図である。

【図7】斥力ポテンシャルの形状を概略的に示す図である。

【図8】実施の形態において用いられた斥力ポテンシャルを具体的に示す図である。

【図9】3階調目以降のドットパターンの形成方法を説明するための図である。

【図10】図5のフローチャートでステップS3を変更し、1階調目で擬似周期性パターンを与える方法を示す図である。

【図11】図5のステップS3を変更した場合に2階調目以降のステップの一例を示した図である。

【図12】図5のステップS3を変更した場合に2階調目以降のステップの他の例を示した図である。

【図13】本実施の形態の画像を処理するための基本システムの構成例を示す図である。

【図14】第1の実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図15】第1の実施の形態における単位画素区画が出力画面上二次元的に配列される様子を示す図である。

【図16】第1の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図17】第1の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した8階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図18】第1の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図19】第1の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図20】第1の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図21】第1の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図22】第1の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図23】第2の実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図24】第2の実施の形態における単位画素区画が出力画面上二次元的に配列される様子を示す図である。

【図25】第2の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図26】第2の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した8階調目のドットパターンを10

倍に拡大して示した図である。

【図27】第2の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図28】第2の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図29】第2の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図30】第2の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図31】第2の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図32】第3の実施の形態における単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図33】第3の実施の形態における単位画素区画が出力画面上二次元的に配列される様子を示す図である。

【図34】第3の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図35】第3の実施の形態において小画素区画内から2階調目のドットを打つ1画素を確率的に決める際に小画素区画に付与するガウス型の重み付けを示す図である。

【図36】第3の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図37】第3の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した8階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図38】第3の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図39】第3の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図40】第3の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図41】第3の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図42】第3の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図43】第4の実施の形態において最初に想定された単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及

び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図44】第4の実施の形態において実際に作成した単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図45】第4の実施の形態における単位画素区画が出力画面上二次元的に配列される様子を示す図である。

【図46】第4の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図47】第4の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した8階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図48】第4の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図49】第4の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図50】第4の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図51】第4の実施の形態における単位マスクの形状異方性の影響を除くため、本実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性の値から同一マスク形状に切り取った青色マスクによるドットパターンに関する非等方性の値を差し引いた値を示す図である。

【図52】第4の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図53】第4の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図54】第5の実施の形態において最初に想定された単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図55】第5の実施の形態において実際に作成した単位マスクに対応する単位画素区画の形状、大きさ、及び同じドット配列を持つ要素画素区画の組を示す図である。

【図56】第5の実施の形態における単位画素区画が出力画面上二次元的に配列される様子を示す図である。

【図57】第5の実施の形態における図5のフローチャートのステップS3とS4とを説明するための図である。

【図58】第5の実施の形態において小画素区画内から2階調目のドットを打つ1画素を選択するための規則を説明するための図である。

【図59】第5の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した8階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図60】第5の実施の形態において256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンを10倍に拡大して示した図である。

【図61】第5の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図62】第5の実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図63】第4の実施の形態における単位マスクの形状異方性の影響を除くため、本実施の形態における単位マスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性の値から同一マスク形状に切り取った青色マスクによるドットパターンに関する非等方性の値を差し引いた値を示す図である。

【図64】第5の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図65】第5の実施の形態における単位マスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図66】600dpiのプリンタで第2の実施の形態のマスクを用いて出力したグレースケールの一部を等倍コピーした図である。

【図67】600dpiのプリンタで第4の実施の形態のマスクを用いて出力したグレースケールの一部を等倍コピーした図である。

【図68】青色ノイズ特性を持つディザ法が準拠する理論体系を示す図である。

【図69】組織的ディザ法の1階調目のドットパターンを示す図である。

【図70】青色ノイズマスク法の1階調目のドットパターンを示す図である。

【図71】600dpiのプリンタで256×256の大きさの青色ノイズマスクを用いて出力したグレースケールの一部を等倍コピーした図である。

【図72】600dpiのプリンタで128×128の大きさの青色ノイズマスクを用いて出力したグレースケールの一部を等倍コピーした図である。

【図73】600dpiのプリンタで64×64の大きさの青色ノイズマスクを用いて出力したグレースケールの一部を等倍コピーした図である。

【図74】128×128の大きさの青色ノイズマスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図75】128×128の大きさの青色ノイズマスク一枚の

みによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図76】128×128の大きさの青色ノイズマスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図77】128×128の大きさの青色ノイズマスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図78】64×64の大きさの青色ノイズマスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図79】64×64の大きさの青色ノイズマスク一枚のみによって生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図80】64×64の大きさの青色ノイズマスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する半径方向の一次元空間周波数特性を示す図である。

【図81】64×64の大きさの青色ノイズマスクによって256×256画素の大きさの画面内に生成した32階調目のドットパターンに関する非等方性を示す図である。

【図82】中間調再現スクリーンに擬似周期的不規則パターンを用いた公知の技術を示す図である。

【図83】集団ドットディザ法において閾値マトリックスの形状を十字型にした公知の技術を示す図である。

【図84】集団ドットディザ法において閾値マトリックスの形状を十字型にした公知の技術において、1階調目のドットパターンに弱い不規則性(振動)が導入されたことを示す図である。

【符号の説明】

- 1 1階調目にドットを打たれた画素
- 2 2階調目にドットを打たれた画素
- 3 3階調目にドットを打たれた画素
- 4 4階調目にドットを打たれた画素
- 5、6、7 同じドットパターンを持つ要素画素区画
- 8、9、10 独立したドットパターンを持つ要素画素区画
- 11、12、13 小画素区画
- 14、15、16、17 要素画素区画
- 18 単位画素区画
- 19、20、21、22 要素画素区画14の部分画素区画
- 23、24、25、26 1階調目のドット
- 27 ドット23に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画18の内部に及ぶ範囲を示す円弧

28、29、30 ドット23に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画18の外部に及ぶ範囲を示す円弧

31 ドット23が打たれた画素に対応する、単位画素区画18の右隣の単位画素区画内の画素に打たれたドット

32 ドット31に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画18の内部に及ぶ範囲を示す円弧

33 ドット23が打たれた画素に対応する、単位画素区画18の下隣の単位画素区画内の画素に打たれたドット

34 ドット33に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画18の内部に及ぶ範囲を示す円弧

35 ドット23が打たれた画素に対応する、単位画素区画18の右斜め上の単位画素区画内の画素に打たれたドット

36 ドット35に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画18の内部に及ぶ範囲を示す円弧

37 単位画素区画18の内部で斥力ポテンシャルが最小となる画素

38 要素画素区画17の内部で画素37に対応する位置にある画素

39、40、41、42 小画素区画

43 単位画素区画

44 1階調目のドット

45 ドット44に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画43の内部に及ぶ範囲を示す円弧

46、47、48 ドット44に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画43の外部に及ぶ範囲を示す円弧

49 ドット44が打たれた画素に対応する、単位画素区画43の下隣の単位画素区画内の画素に打たれたドット

50 ドット49に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画43の内部に及ぶ範囲を示す円弧

51 ドット44が打たれた画素に対応する、単位画素区画43の右側斜め下に16画素分ずれた単位画素区画内の画素に打たれたドット

52 ドット51に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画43の内部に及ぶ範囲を示す円弧

53 ドット44が打たれた画素に対応する、単位画素区画43の右側斜め上に16画素分ずれた単位画素区画内の画素に打たれたドット

54 ドット53に付与された斥力ポテンシャルが単位画素区画43の内部に及ぶ範囲を示す円弧

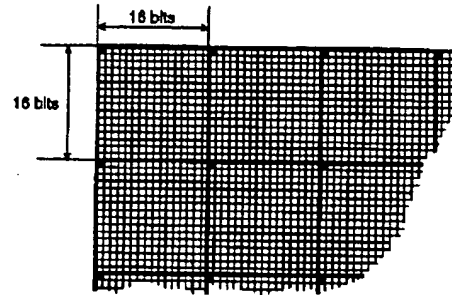
55 単位画素区画43の内部で斥力ポテンシャルが最小となる画素

【図1】

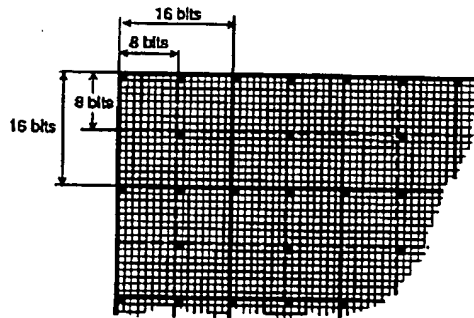
画面サイズ: 256X256 画素

| 画素空間                               | スペクトル空間                                     |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| 非青色ノイズパターン<br>① 粒状性が少ない<br>② 画像がない | 非青色ノイズスペクトル<br>① 低周波数成分が少ない<br>② 周期的 (非等方的) |
| 視覚的に好ましい                           | 視覚的に好ましい                                    |
| 視覚的に好ましい                           | 青色ノイズではない                                   |

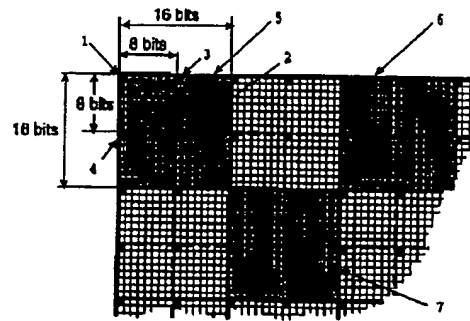
【図2】



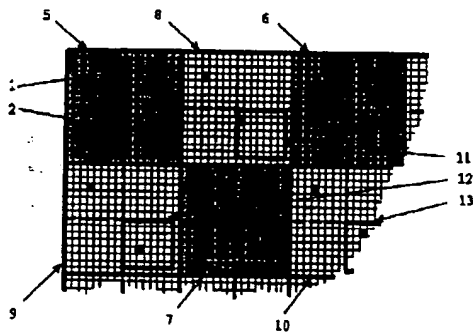
【図3】



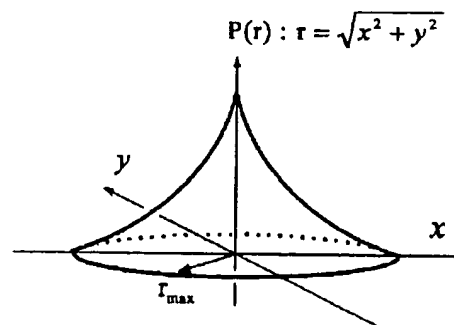
【図4】



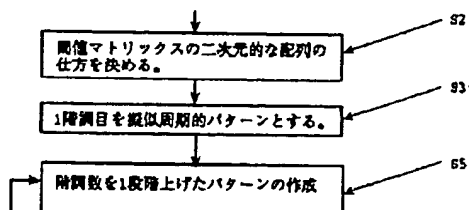
【図6】



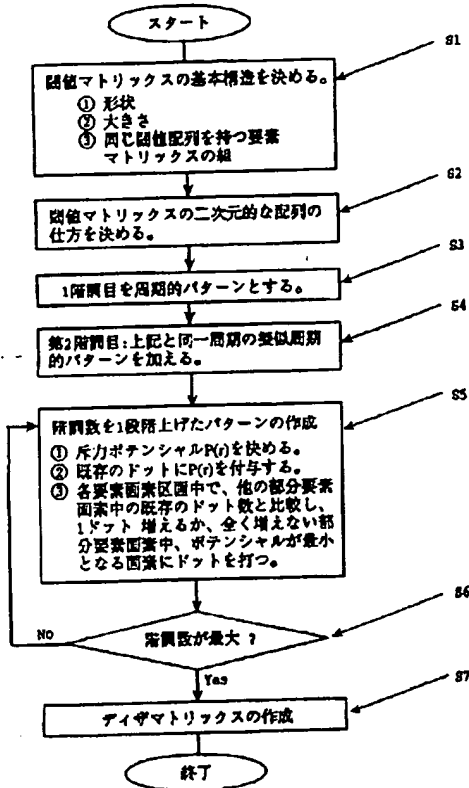
【図7】



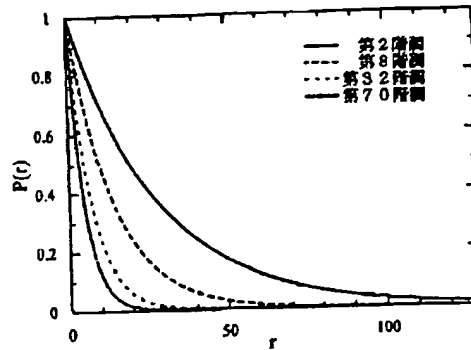
【図12】



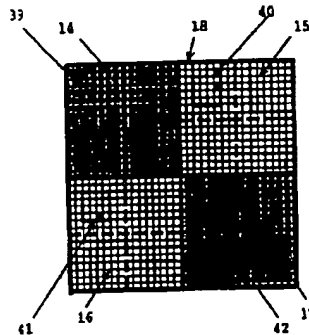
【図5】



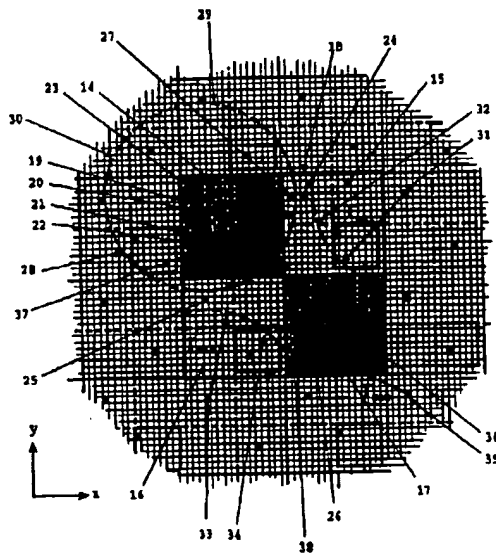
【図8】



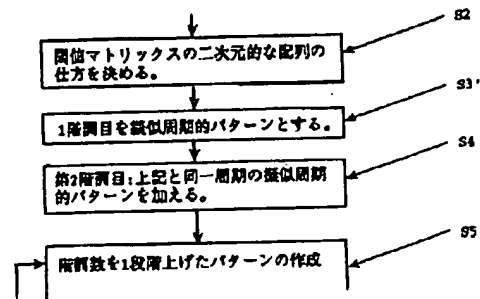
【図10】



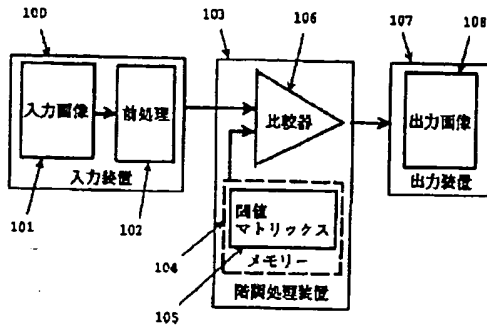
【図9】



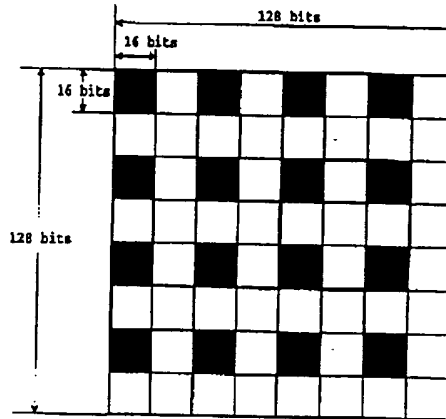
【図11】



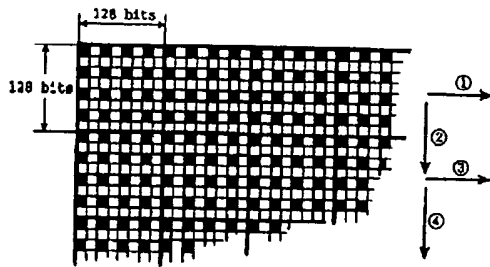
【図13】



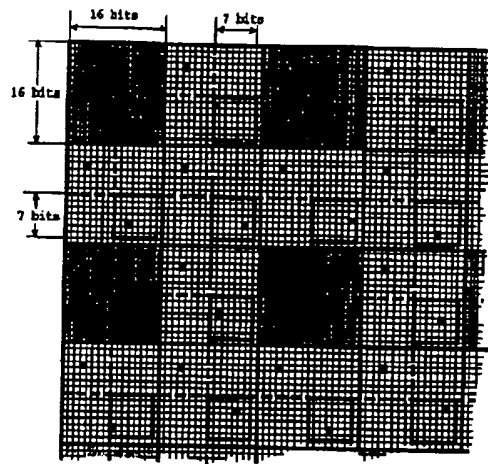
【図14】



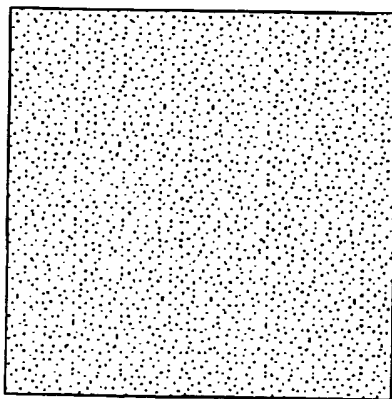
【図15】



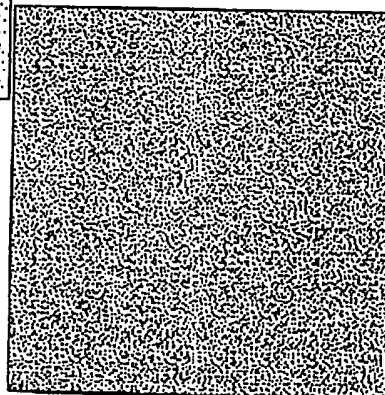
【図16】



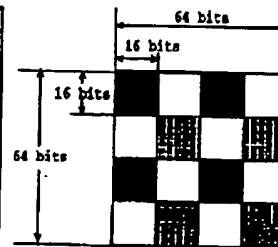
【図17】



【図18】

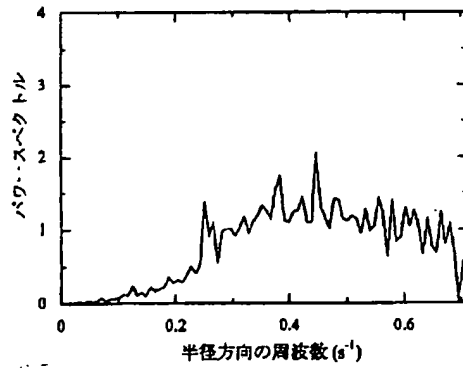


【図32】

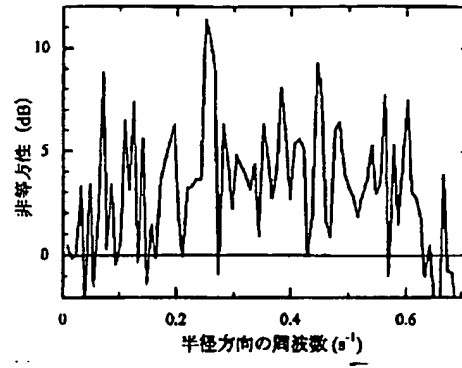




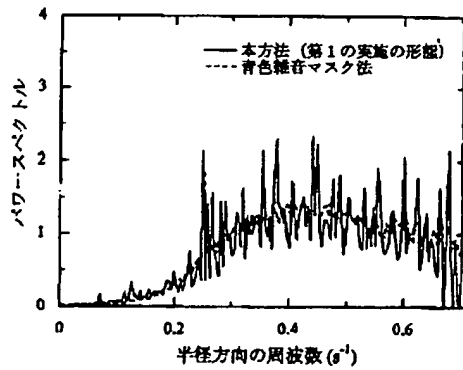
【図19】



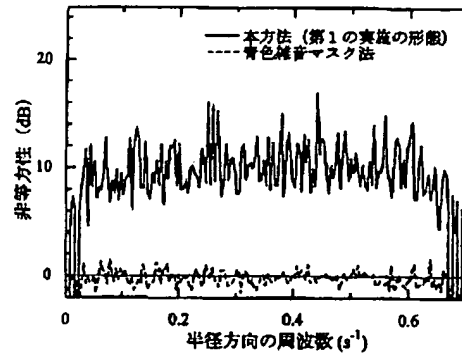
【図20】



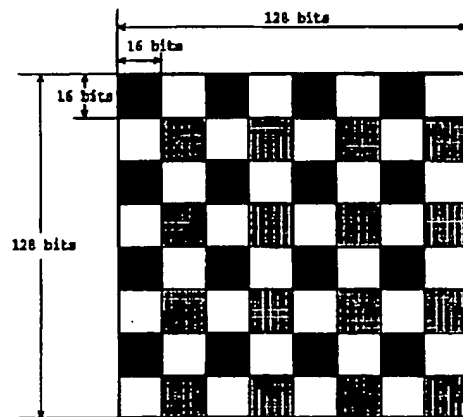
【図21】



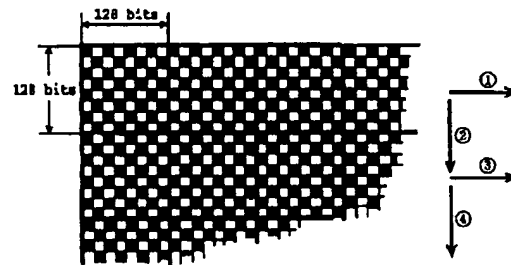
【図22】



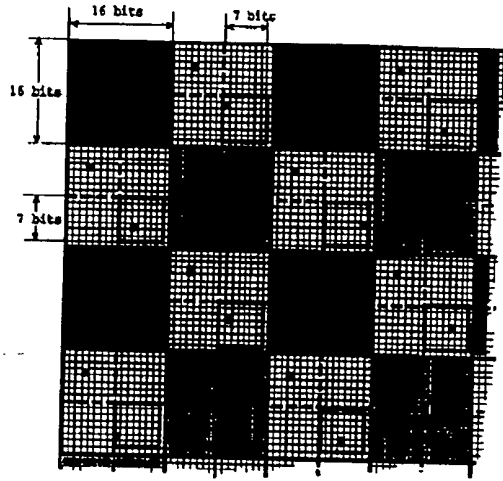
【図23】



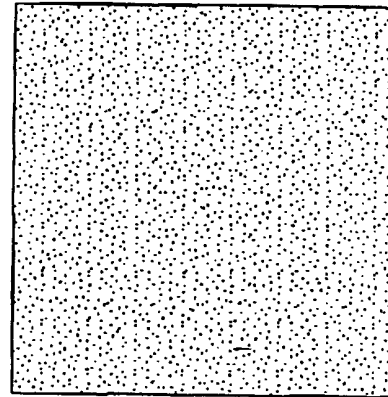
【図24】



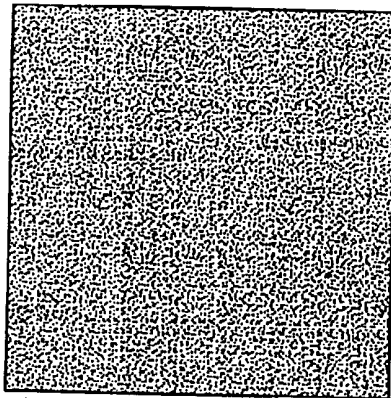
【図25】



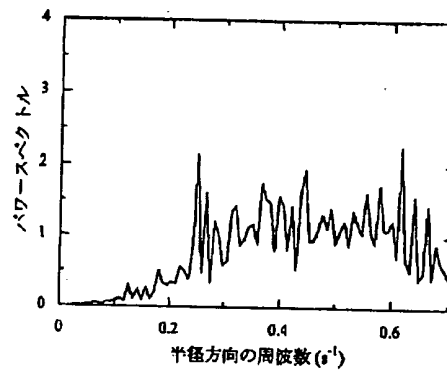
【図26】



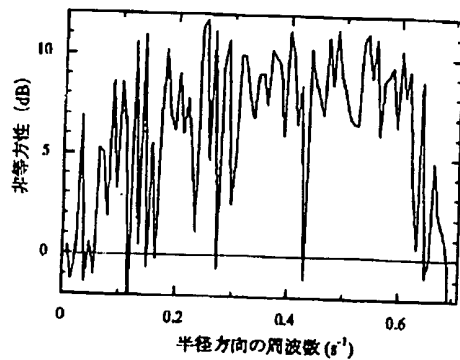
【図27】



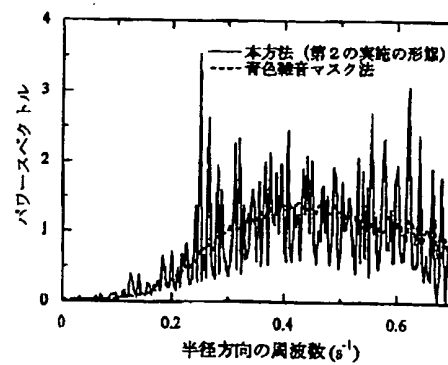
【図28】



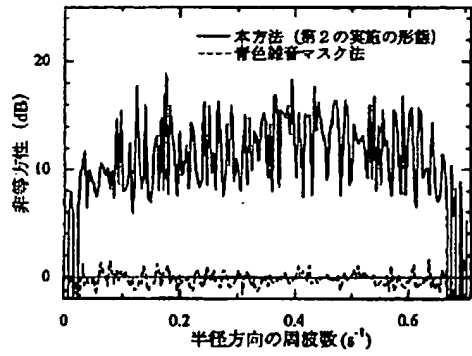
【図29】



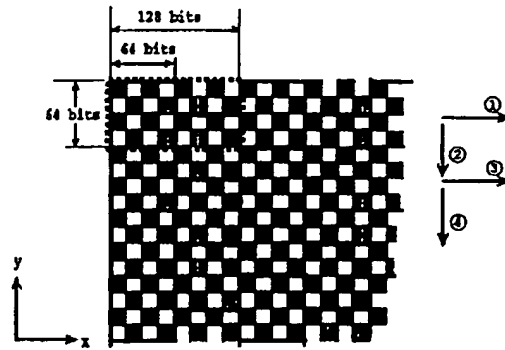
【図30】



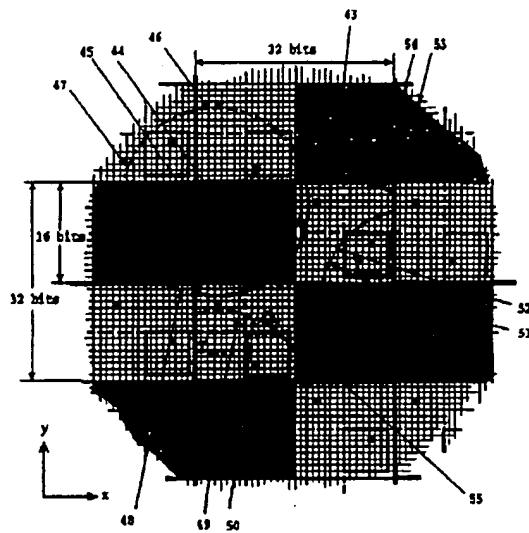
【図31】



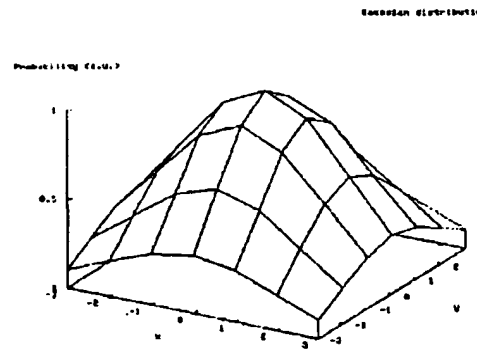
【図33】



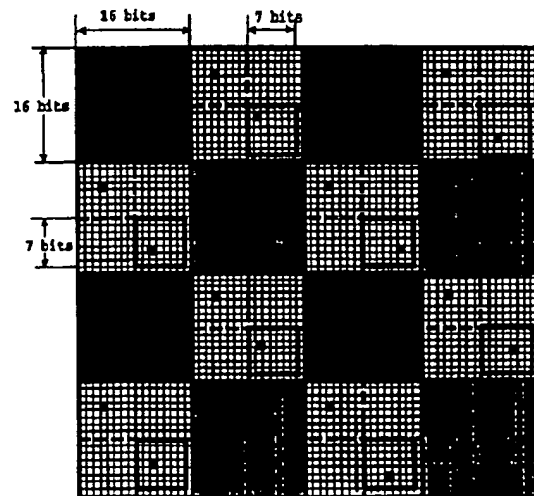
【図34】



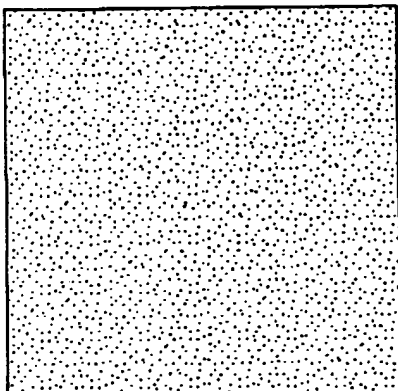
【図35】



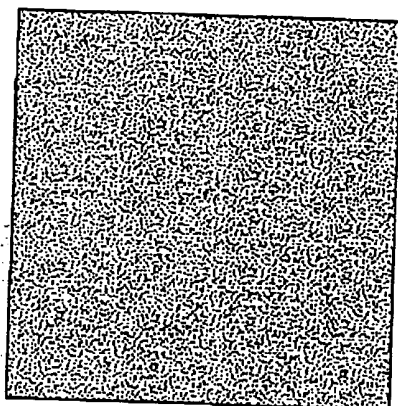
【図36】



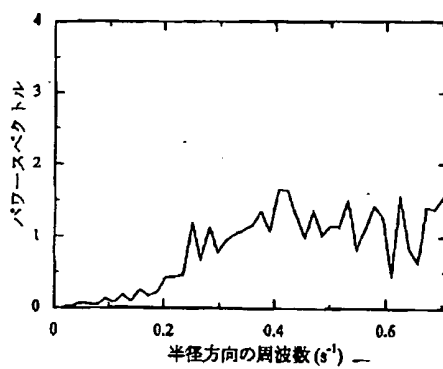
【図37】



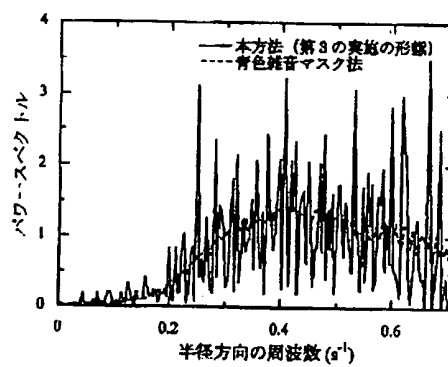
【図38】



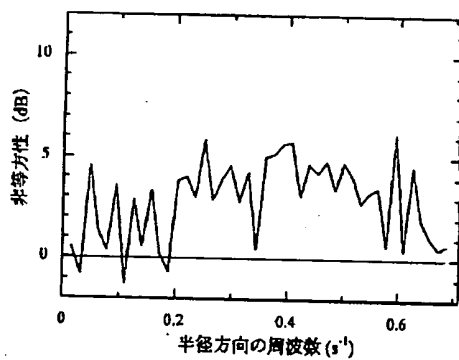
【図39】



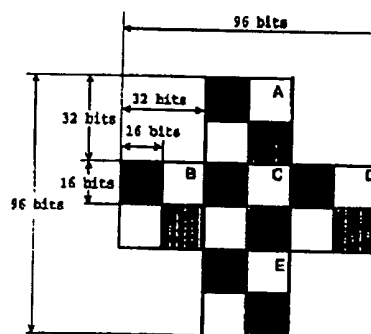
【図41】



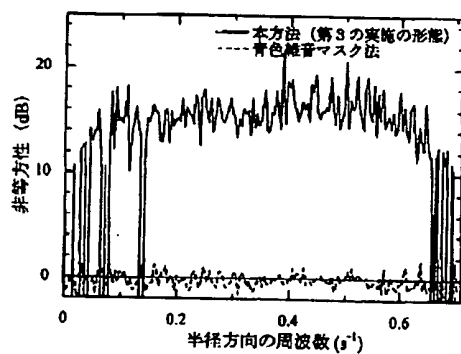
【図40】



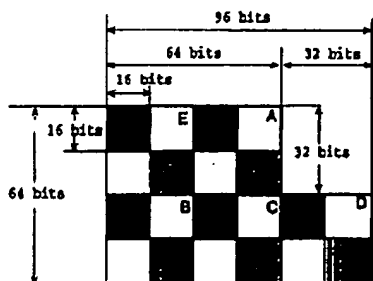
【図43】



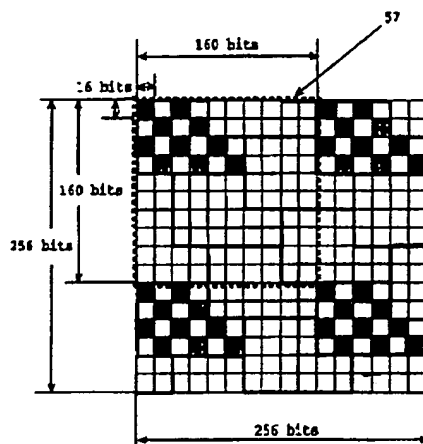
【図42】



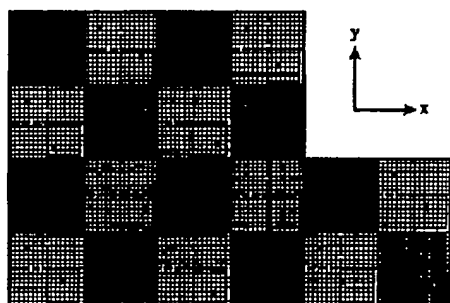
【図41】



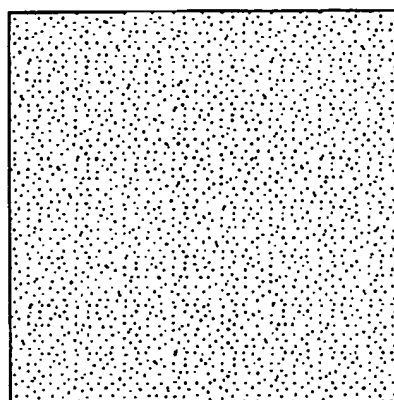
【図45】



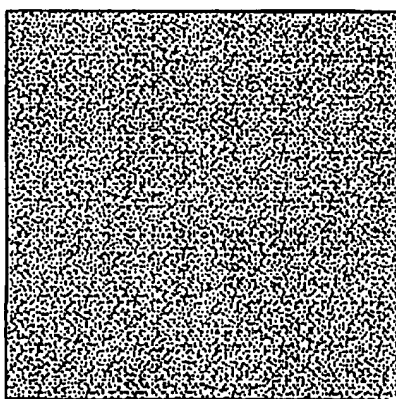
【図46】



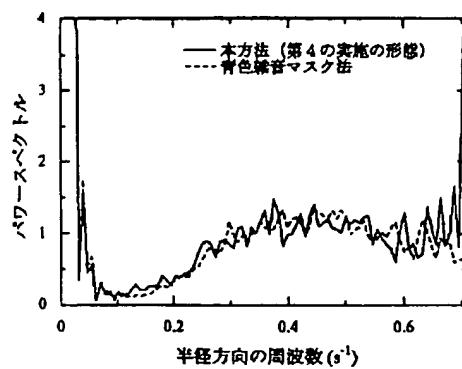
【図47】



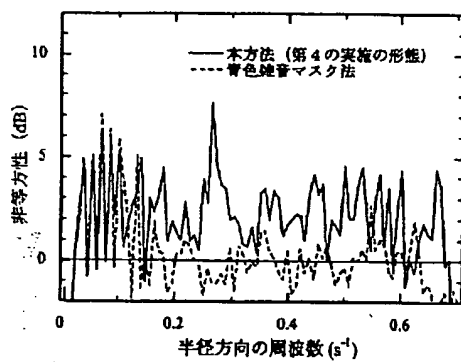
【図48】



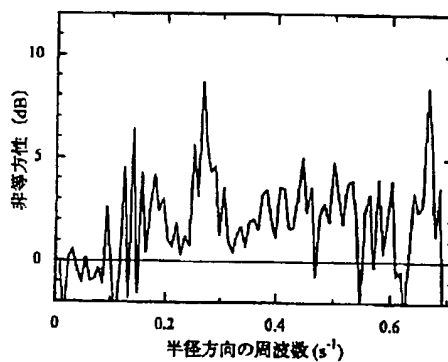
【図49】



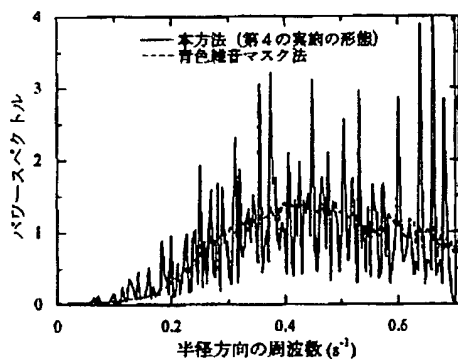
【図50】



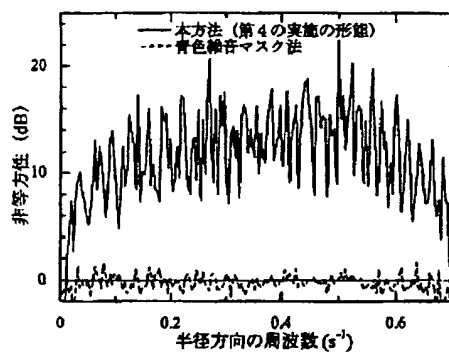
【図51】



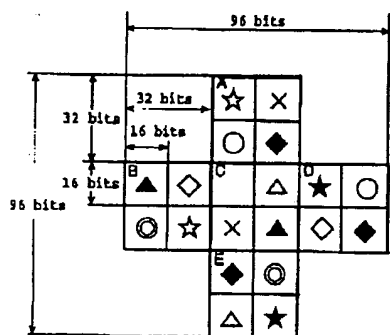
【図52】



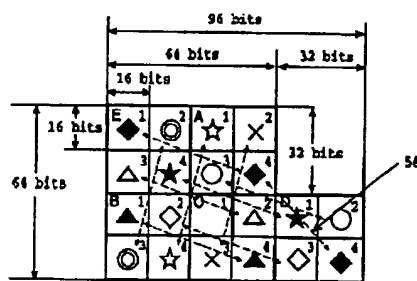
【図53】



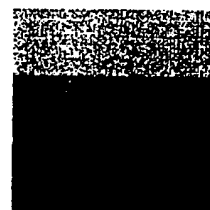
【図54】



【図55】



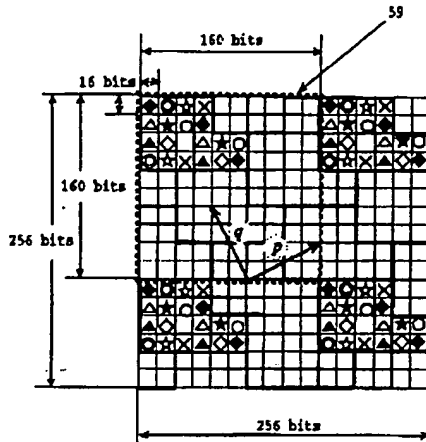
【図66】



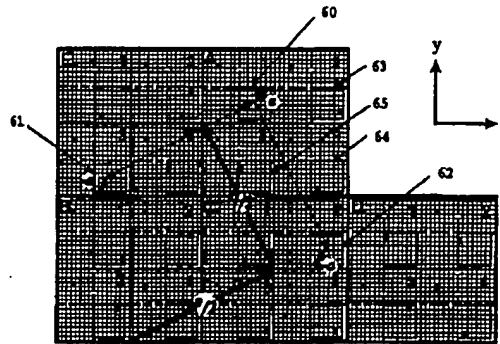
【図67】



【図56】

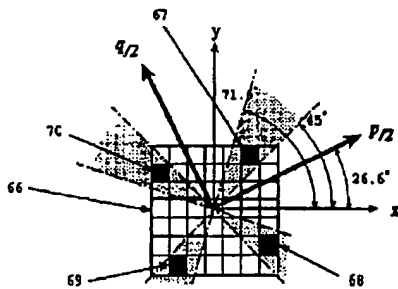


【図57】

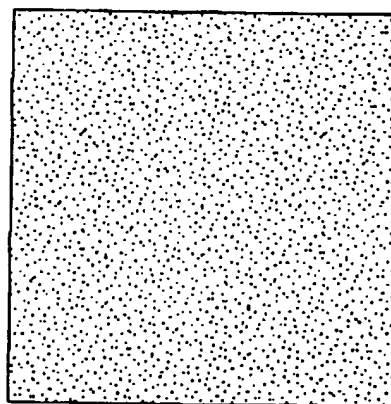


【図71】

【図58】

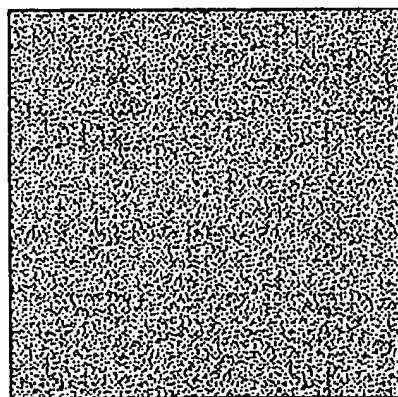


【図59】

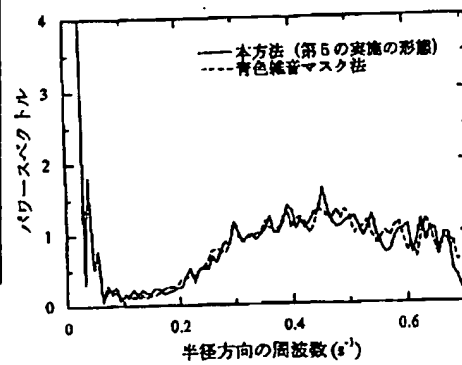


【図72】

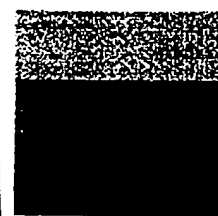
【図60】



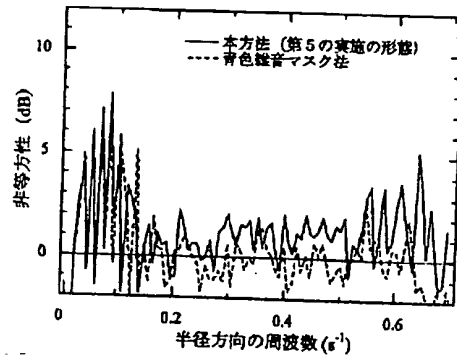
【図61】



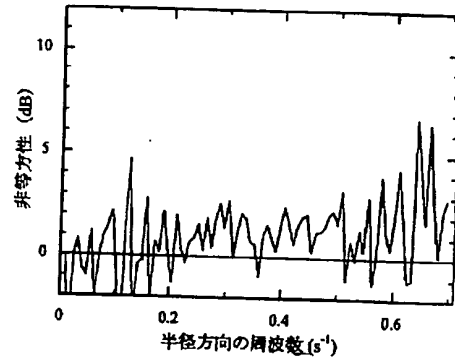
【図73】



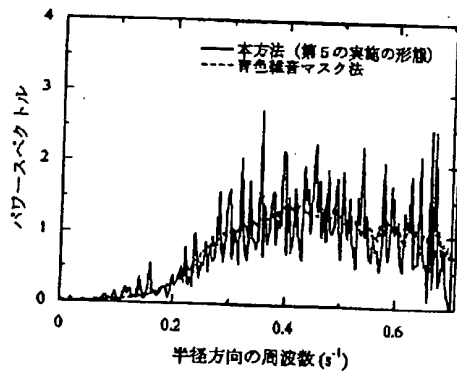
【図62】



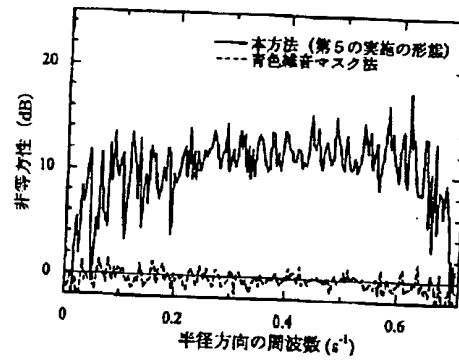
【図63】



【図64】



【図65】

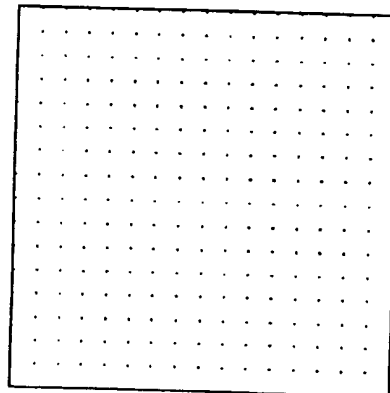


【図68】

画面サイズ: 256×256 画素

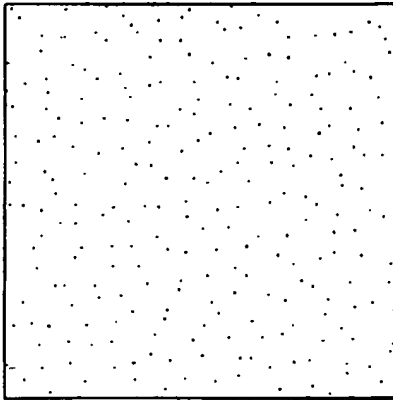
| 図画空間            | スペクトル空間      |
|-----------------|--------------|
| 青色ノイズパターン       | 青色ノイズスペクトル   |
| ① 粒状性が少ない       | ① 低周波成分が少ない  |
| ② 虚像がない         | ② 非局所的 (等方的) |
| (対偶) 視覚的に好ましくない | 青色ノイズではない    |

【図69】

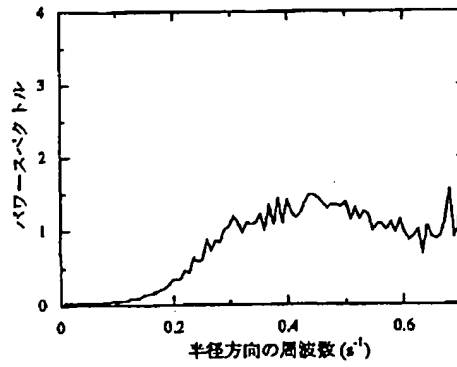




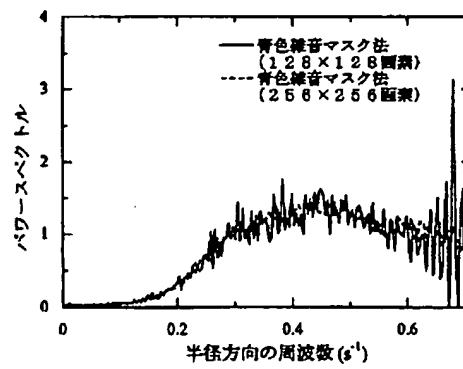
【図70】



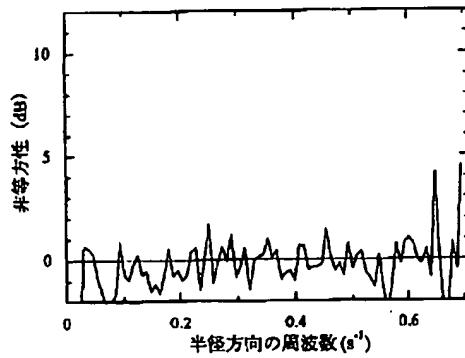
【図74】



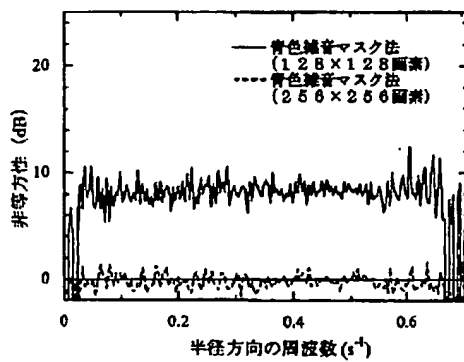
【図76】



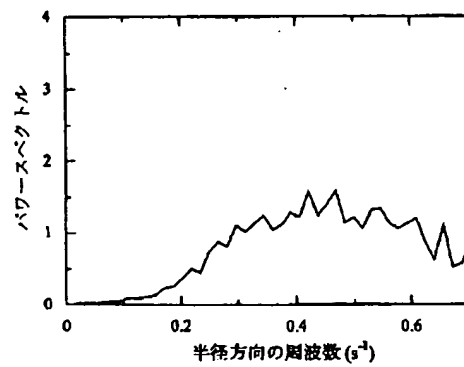
【図75】



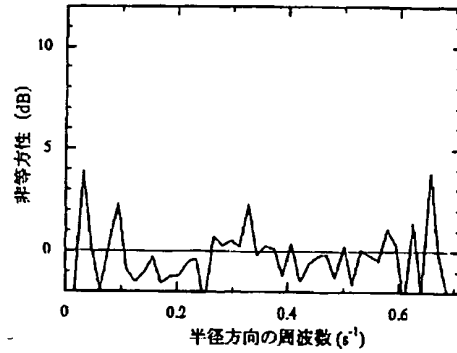
【図77】



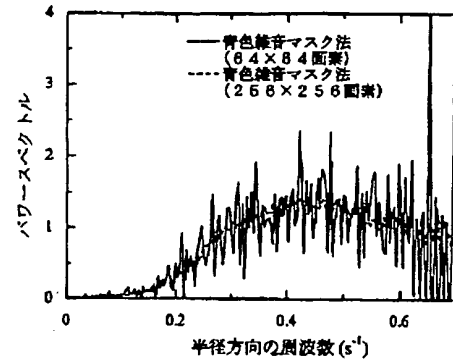
【図78】



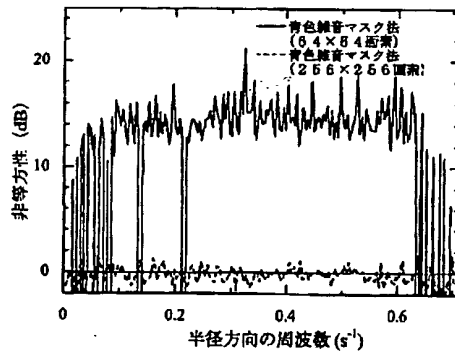
【図79】



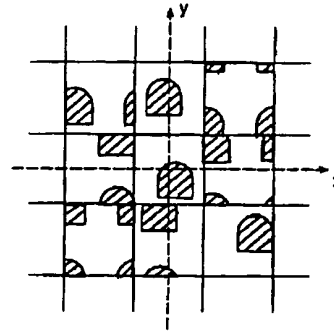
【図80】



【図81】



【図82】



【図83】

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 15 | 23 | 35 | 27 | 26 | 10 | 2  | 4  | 22 | 36 |
| 31 | 39 | 19 | 11 | 34 | 18 | 8  | 8  | 14 | 30 |
| 25 | 9  | 1  | 3  | 21 | 37 | 18 | 24 | 35 | 27 |
| 33 | 17 | 5  | 7  | 13 | 29 | 32 | 40 | 19 | 11 |
| 21 | 37 | 15 | 23 | 35 | 28 | 25 | 9  | 1  | 3  |
| 18 | 29 | 31 | 39 | 20 | 12 | 33 | 17 | 5  | 7  |
| 35 | 27 | 26 | 10 | 2  | 4  | 22 | 38 | 15 | 23 |
| 19 | 11 | 34 | 18 | 8  | 8  | 14 | 30 | 31 | 39 |
| 1  | 3  | 21 | 37 | 16 | 24 | 38 | 28 | 25 | 9  |
| 5  | 7  | 13 | 29 | 32 | 40 | 20 | 12 | 33 | 17 |

【図84】

